

**DESARROLLO DE LAS METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN
DE LA CONFORMACIÓN FUNCIONAL
Y DEL POTENCIAL DEPORTIVO
DEL CABALLO DE PURA RAZA ESPAÑOLA**

TESIS DOCTORAL 2015



M^a José Sánchez Guerrero

TITULO: *Desarrollo de nuevas metodologías de evaluación genética de la conformación funcional y del potencial deportivo del caballo de pura raza española.*

AUTOR: *María José Sánchez Guerrero*

© Edita: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba. 2016
Campus de Rabanales
Ctra. Nacional IV, Km. 396 A
14071 Córdoba

www.uco.es/publicaciones
publicaciones@uco.es



Grupo de Investigación MERAGEM



**Departamento de Genética
Facultad de Veterinaria
Universidad de Córdoba**



**Departamento de Ciencias Agroforestales
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica
Universidad de Sevilla**



**Departamento de Producción Animal
Facultad de Veterinaria
Universidad Complutense de Madrid**



**Asociación Nacional de Criadores de Caballos
de Pura Raza Española**



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

**DESARROLLO DE LAS METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE LA
CONFORMACIÓN FUNCIONAL Y DEL POTENCIAL DEPORTIVO DEL CABALLO
DE PURA RAZA ESPAÑOLA**

**DEVELOPMENT OF GENETIC EVALUATION METHODOLOGIES OF THE
CONFORMATION AND FUNCTIONAL POTENTIAL SPORT OF THE PURA RAZA
ESPAÑOL HORSE**

TESIS DOCTORAL

M^a JOSÉ SÁNCHEZ GUERRERO

Córdoba, Octubre de 2015



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

**DESARROLLO DE LAS METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE LA
CONFORMACIÓN FUNCIONAL Y DEL POTENCIAL DEPORTIVO DEL CABALLO
DE PURA RAZA ESPAÑOLA**

**DEVELOPMENT OF GENETIC EVALUATION METHODOLOGIES OF THE
CONFORMATION AND FUNCTIONAL POTENTIAL SPORT OF THE PURA RAZA
ESPAÑOL HORSE**

MEMORIA DE TESIS DOCTORAL PRESENTADA POR

M^a JOSÉ SÁNCHEZ GUERRERO

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

DIRECTORES

Dra. Mercedes Valera Córdoba

Dra. M^a Dolores Gómez Ortiz

Córdoba, Octubre de 2015



TÍTULO DE LA TESIS: DESARROLLO DE LAS METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE LA CONFORMACIÓN FUNCIONAL Y DEL POTENCIAL DEPORTIVO DEL CABALLO DE PURA RAZA ESPAÑOLA.

DOCTORANDO/A: M^a JOSÉ SÁNCHEZ GUERRERO

INFORME RAZONADO DEL/DE LOS DIRECTOR/ES DE LA TESIS

(se hará mención a la evolución y desarrollo de la tesis, así como a trabajos y publicaciones derivados de la misma).

La Tesis Doctoral que se presenta se ha elaborado a modo de “**compendio de publicaciones**”, al estar integrada por cuatro artículos publicados en revistas ISI, de gran impacto en el campo de la Ciencia Animal, otros dos artículos que actualmente se encuentra en fase de revisión en otras revistas indexadas y un Libro completo. La Tesis se ha estructurado en 4 capítulos que han permitido la optimización del Programa de Mejora del Caballo de Pura Raza Española.

Capítulo 1: “Caracterización morfológica del caballo Pura Raza Español”. En el primer capítulo se ha abordado una caracterización fenotípica a partir de distintas variables zoométricas y de puntuaciones de concursos morfológicos, en el caballo PRE. Este capítulo está integrado por dos trabajos:

- **Sánchez, M.J., Molina, A., Gómez, M.D., Peña, F., Valera, M. (2015).** Relationship between morphology and performance: signature of mass-selection in Pura Raza Español horse. *Livestock Science* (sometido).
 - Índice de Impacto: 1,171 (Journal Citation Report, 2014).
 - Área y cuartil: Agriculture, Dairy and Animal Science, (2º cuartil) Posición 18/57.
- **Sánchez, M.J., Gómez, M.D., Molina, A., Valera, M. (2014).** Assessment scores in morphological competitions of Pura Raza Español horse. *International Journal of Agriculture and Biology*, 16 (3), 557-563.
 - Índice de Impacto: 0,902 (Journal Citation Report, 2013).
 - Área y cuartil: Agriculture, Multidisciplinary, (2º cuartil) Posición 21/56.

Capítulo 2: “Sistema de Calificación Morfológica Lineal en el caballo Pura Raza Español”. Se ha evaluado el sistema de Calificación Morfológica Lineal propuesto en el programa de mejora del PRE. Para llevar a cabo este estudio se ha estimado los parámetros genéticos de los rasgos morfológicos y se ha analizado la calidad de la información obtenida por los calificadores que realizaron los controles de rendimientos, a través de los parámetros de fiabilidad y de repetibilidad. Los resultados de este estudio se han publicado en el trabajo:

- **Sánchez, M.J., Gómez, M.D., Molina, A., Valera, M. (2013).** Genetic analyses for linear conformation traits in Pura Raza Español horses. *Livestock Science*, 157(1), 57-64.
 - Índice de Impacto: 1,100 (Journal Citation Report, 2013).
 - Área y cuartil: Agriculture, Dairy and Animal Science, (2º cuartil) Posición 17/52.

Capítulo 3: “**Funcionalidad: Doma Clásica**”. Se ha estudiado los modelos de valoración genética en la disciplina de Doma Clásica, a partir de los controles de rendimiento de los caballos participantes en las Pruebas de Selección de Caballos Jóvenes, mediante un proceso de validación cruzada. Los resultados más importantes de este capítulo se han publicado en el trabajo:

- **Sánchez, M.J., Cervantes, I., Valera, M., Gutiérrez, J.P. (2014).** Modelling genetic evaluation for dressage in Pura Raza Español horses with focus on the rider effect. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 131 (5), 395-402.
 - Índice de Impacto: 1,566 (Journal Citation Report, 2014).
 - Área y cuartil: Agriculture, Dairy and Animal Science”, (1º cuartil). Posición 12/57.
- **Sánchez M.J., Azor P.J., Gómez M.D., Molina A., Solé M., Valera M. (2014).** Catalog of PRE Breeding Stock - 2014 Dressage and Eventing. ISBN: 978-84-697-1746-2. Páginas: 71. Edita: Asociación Nacional de Criadores de Caballos Pura Raza Española

Capítulo 4: “**Relación entre morfología y funcionalidad en el caballo Pura Raza Español**”. Para realizar el análisis de la relación entre la funcionalidad y la morfología del PRE se han llevado a cabo dos estudios. En primer lugar se ha analizado la relación genética entre medidas zoométricas y variables biocinemáticas del trote obtenidas en condiciones experimentales sobre una cinta rodante. En segundo lugar se ha realizado un estudio para determinar el mejor índice de selección para la Doma Clásica y usando como criterios de selección variables morfológicas, variables funcionales o la combinación de ambos tipos de variables. Los resultados más importantes de este capítulo se han publicado en los trabajos:

- **Sánchez, M.J., Gómez, M.D., Molina, A., Valera, M. (2014).** Relationship between conformation trait and gait characteristics in Pura Raza Español horses. *Archiv Tierzucht* 56 (1), 137-148.
 - Índice de Impacto: 0,503 (Journal Citation Report, 2014).
 - Área y cuartil: Agriculture, Dairy and Animal Science, (3º cuartil). Posición 43/57.
- **Sánchez, M.J., Molina, A., Cervantes, I., Gutiérrez, J.P., Valera M. (2015).** Designing an early selection morphological linear traits index for dressage in Pura Raza Español horse. *Journal of Animal Science* (sometido).

- Índice de Impacto: 2,108 (Journal Citation Report, 2014).
- Área y cuartil: Agriculture, Dairy and Animal Science, (1º cuartil). Posición 5/57

Córdoba, Octubre de 2015
Firma del/de los director/es



Fdo.: MERCEDES VALERA CÓRDOBA



Fdo.: Mª DOLORES GÓMEZ ORTIZ

Visto Bueno y Firma del Tutor y Responsable de la Línea de Investigación



Fdo.: ANTONIO MOLINA ALCALÁ



TÍTULO DE LA TESIS: DESARROLLO DE LAS METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE LA CONFORMACIÓN FUNCIONAL Y DEL POTENCIAL DEPORTIVO DEL CABALLO DE PURA RAZA ESPAÑOLA.

DOCTORANDO/A: M^a JOSÉ SÁNCHEZ GUERRERO

MENCIÓN DE DOCTORADO INTERNACIONAL

Esta tesis reúne los requisitos establecidos en el artículo 35 de Normativa de Doctorado de la Universidad de Córdoba para la obtención del Título de Doctor con Mención Internacional:

- Estancia internacional predoctoral de 3 meses (1/06/2012-31/08/2012) en la Facultad de Biotecnología de la Universidad de Liubliana (Eslovenia) bajo la supervisión de la Dr. Emil Erjavec.

La tesis cuenta con el informe previo de al menos dos doctores expertos y con experiencia investigadora acreditada perteneciente a alguna institución de educación superior o instituto de investigación de fuera de España:

- Dra. Ester Bartolomé Medina. Profesor Auxiliar en la Universidad Lusófona de Lisboa (Portugal).
- Dr. Manuel Juárez Dávila. Research Scientist. Lacombe Research Centre (Canada).
- Dr. Enrique Rubén Género. Cátedra de Mejoramiento Animal y Vegetal. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina, Buenos Aires (Argentina).

Un doctor perteneciente a alguna institución de educación superior o centro de investigación no español forma parte del tribunal evaluador de la tesis.

- Profesor Adjunto Dra. Rute Isabel Duarte Güedes Dos Santos. Escola Superior Agrária de Elvas Instituto Politécnico de Portalegre. Portugal.
- Dra. Rebeka Zsoldos. Research Universität für Bodenkultur. WIEN.

Parte de la Tesis se ha redactado en español e inglés y será presentada en estos dos idiomas.

“Instrúyanse, porque tendremos necesidad de toda vuestra inteligencia.
Agítense, porque tendremos necesidad de todo vuestro entusiasmo.
Organícense, porque tendremos necesidad de toda vuestra fuerza”

Gramsci

A mis padres, a mi hermano y a Javi,
por darme todo sin esperar nada a cambio,
por disfrutar conmigo,
por enseñarme a vivir.

AGRADECIMIENTOS

Al finalizar un trabajo tan apasionante como el desarrollo de una tesis doctoral te das cuenta que este trabajo habría sido imposible sin la participación de personas e instituciones que me han prestado su ayuda cada día. Por ello para mí es un verdadero placer utilizar este espacio para expresar mi agradecimiento y reconocimiento.

En primer lugar quiero agradecer de manera especial y sincera a las directoras de esta Tesis. Mercedes Valera Córdoba y María Dolores Gómez. Mercedes gracias por tu paciencia, disponibilidad y generosidad compartiendo tu tiempo y conocimiento, muchas gracias. María Dolores muchas gracias por tu supervisión y tutela durante la realización de la misma. Vuestro apoyo, disponibilidad, cariño, confianza en mi trabajo y capacidad para guiar mis ideas en el desarrollo de esta tesis han sido fundamentales. Ha sido para mí una experiencia muy enriquecedora trabajar con vosotras, gracias de verdad.

No quiero olvidarme de dar mi más sincero agradecimiento a Antonio Molina Alcalá, por su imprescindible apoyo. Siempre recordaré que fue a él a quien acudí al adentrarme en este apasionante mundo de la investigación; atraída por el Perro de Aguas, una pasión que ambos compartimos. No me olvido de que fue el primero en confiar en mí. Sin ninguna duda tu participación y tu ayuda en mi Tesis han sido parte fundamental del trabajo realizado. Muchas gracias por sacar siempre tiempo.

Quiero dar también un agradecimiento especial a las personas que me han brindado su sabiduría, hospitalidad y apoyo en las estancias realizadas. Muchas gracias a Manuel Juárez, Nigel Cook, Al Schaefer, Klemen Potočnik, Isabel Cervantes y Juan Pablo Gutiérrez. Espero que en el futuro sigamos compartiendo proyectos y poder seguir aprendiendo de vosotros. Gracias especialmente por vuestro apoyo y tiempo invertido en enseñarme cuando realicé mi estancia doctoral en Madrid. Siempre estabais ahí cuando me surgía alguna duda. Gracias a los dos por todo.

Para mis compañeros de grupo solo tengo palabras de agradecimiento, especialmente por los buenos momentos, las risas, las cenas de navidad y su ayuda constante. Fue un camino largo y agradable, y esto fue debido en gran parte a la importancia del contacto humano. Para todos mis compañeros durante este tiempo: Ester, Marina, Rocío, Rosa, Alberto, Cristóbal, Carmela, Mari Carmen, Sara, Sebas y Gabriel. Mil gracias, hacéis que siempre recuerde mi tiempo de trabajo en Córdoba con mucho cariño.

Lo mismo me ocurre con mis compañeras sevillanas: Gema, Rocío, Ana, Celia, Aurora 1, Aurora 3, Ramiro, Marcos, Silvia, Mari Luz, Alberto, Oliva (y Ester nuevamente) por hacerme cada día más fácil. Con vosotras también he tenido la suerte de compartir muy buenos momentos, aunque los hayamos disfrutado en un despacho sin ventanas.

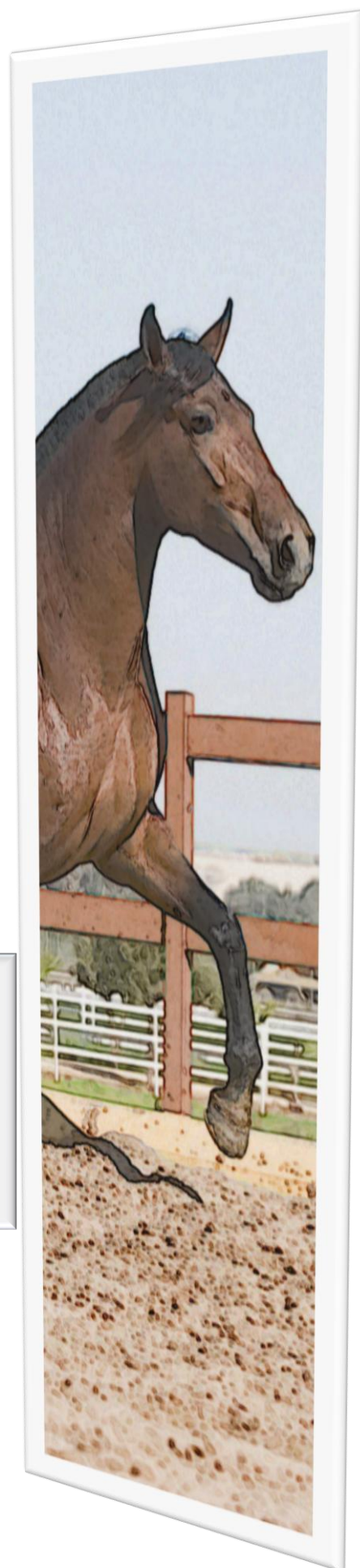
El agradecimiento más profundo y sentido va para mi familia, la malagueña, y la sevillana, porque sin vuestro apoyo, colaboración e inspiración habría sido imposible disfrutar tanto con este precioso trabajo. Gracias a todos por hacerme feliz cada día.

A todas mis amigas, en especial a aquellas personas que me han hecho crecer como persona y como veterinaria (Sandra, Marta, Lucía, Cristina, Yoli, Rocío y Vicky), gracias por todo, por escucharme siempre y por estar ahí siempre. Hacéis que lo difícil parezca fácil y merezca la pena. Gracias.

Por último y como parte fundamental en esta tesis un agradecimiento especial a la Asociación Nacional de Criadores del Caballo de Pura Raza Español, en especial y con mucho cariño a Pedro Azor y María de los Ángeles por permitirme trabajar con ellos en el mundo de este magnífico animal.



ÍNDICE



ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. RESUMEN	29
2. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	39
3. CAPÍTULOS.....	45
3.1 CAPÍTULO 1: CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DEL CABALLO PURA RAZA ESPAÑOL	45
3.1.1 ARTÍCULO 1 (CAPÍTULO I). RELATIONSHIP BETWEEN MORPHOLOGY AND PERFORMANCE: SIGNATURE OF MASS-SELECTION IN PURA RAZA ESPAÑOL HORSE.	49
3.1.2 ARTÍCULO 2 (CAPÍTULO I). ASSESSMENT SCORES IN MORPHOLOGICAL COMPETITIONS OF PURA RAZA ESPAÑOL HORSE	77
3.2 CAPÍTULO II: SISTEMA DE CALIFICACIÓN MORFOLÓGICA LINEAL	87
3.2.1 ARTÍCULO 3 (CAPÍTULO II). GENETIC ANALYSES FOR LINEAR CONFORMATION TRAITS IN PURA RAZA ESPAÑOL HORSES	89
3.3 CAPÍTULO III: FUNCIONALIDAD. DOMA CLÁSICA	99
3.3.1 ARTÍCULO 4 (CAPÍTULO III). MODELLING GENETIC EVALUATION FOR DRESSAGE IN PURA RAZA ESPAÑOL HORSES WITH FOCUS ON THE RIDER EFFECT	101
3.4 CAPÍTULO IV: FUNCIONALIDAD. DOMA CLÁSICA	111
3.4.1 ARTÍCULO 5 (CAPÍTULO IV). RELATIONSHIP BETWEEN CONFORMATION TRAITS AND GAIT CHARACTERISTICS IN PURA RAZA ESPAÑOL HORSES	115
3.4.2 ARTÍCULO 6 (CAPÍTULO IV). DESIGN AN INDEX MULTITRAIT EARLY SELECTION FOR DRESSAGE IN HORSE PURA RAZA ESPAÑOL FROM MORPHOLOGICAL LINEAR TRAITS	129
4. DISCUSIÓN GENERAL.....	161
4.1 RAZAS EQUINAS: SITUACIÓN ACTUAL DEL SECTOR EQUINO ESPAÑOL.	161
4.2 EL CABALLO DE PURA RAZA ESPAÑOL	162
4.2.1 PROGRAMA DE MEJORA	163
4.3 CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA EN CABALLOS	167
4.3.1 SISTEMAS DE CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA	168
4.4 CALIFICACIÓN MORGOLÓGICA LINEAL (CML)	172
4.4.1 SISTEMA DE CML EN EQUIDOS	173
4.4.2 VALORACIÓN GENÉTICA	175
4.5 DOMA CLÁSICA	176
4.5.1 CONTROLES DE RENDIMIENTO PARA LA DISCIPLINA DE DOMA CLÁSICA	178

4.5.2 VALORACIÓN GENÉTICA PARA LA DISCIPLINA DE DOMA CLÁSICA	181
4.6 RELACIÓN ENTRE MORFOLOGÍA Y FUNCIONALIDAD	187
4.6.1 CARACTERES MORFOLÓGICOS Y DOMA CLÁSICA	190
4.7 PERSPECTIVA DE FUTURO DEL PROGRAMA DE MEJORA DEL CABALLO DE PURA RAZA ESPAÑOL	194
5. CONCLUSIONES	203
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	213
7. LISTADO DE PUBLICACIONES	227
7.1 PUBLICACIONES EN REVISTAS CON ÍNDICE DE IMPACTO (ISI)	227
7.2 OTRAS PUBLICACIONES EN REVISTAS DE DIVULGACIÓN	228
7.3 LIBROS COMPLETOS Y CAPÍTULOS DE LIBRO	229
7.4 CONGRESOS INTERNACIONALES	231
7.5 CONGRESOS NACIONALES	233
7.6 DIRECCIÓN DE PROYECTOS FINAL DE CARRERA (ETSIA)	234
7.7 PREMIOS ESPECIALES	234

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características básicas de los sistemas de Calificación Morfológica Lineal en équidos.....173

Tabla 2. Heredabilidades (valores comprendidos entre paréntesis) de caracteres de conformación obtenidos en base a la información recopilada mediante la aplicación de la Calificación Morfológica Lineal, en función de la región corporal y la raza.....176

Tabla 3. Pruebas de control de rendimientos oficiales realizadas a los équidos en los diferentes países.....181

Tabla 4. Heredabilidades para las puntuaciones registrados en los controles

Tabla 5. Número de animales nacidos entre 1998 y 2011, en función del sexo, número de caballos participantes en control de rendimiento (participando en Pruebas de Selección de Caballos Jóvenes para Doma Clásica y pruebas de Calificación Morfológica Lineal) y número de animales con categoría genética.....195

Tabla 6. Media del número de potros nacidos en función del sexo, año de nacimiento y categoría genética del progenitor.....196

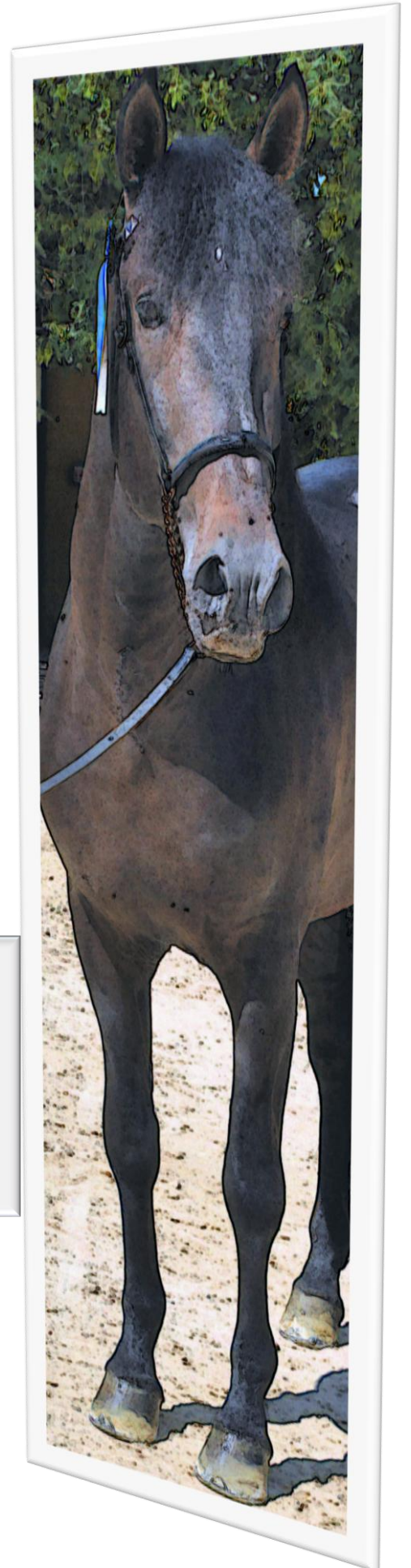
ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución del número de caballos de pura raza y del número de explotaciones, en los últimos seis años, en España.....	162
Figura 2. Evolución del número de caballos de pura raza y del número de explotaciones, en los últimos 6 años, en Andalucía.....	162
Figura 3. Ficha utilizada en la valoración básica del caballo PRE.....	165
Figura 4. Diagrama de la estructura y fases del programa de mejora del Pura Raza Español	167
Figura 5. Portada del Catálogo de Reproductores para la disciplina de Doma Clásica. Año 2014.....	185
Figura 6. Ejemplo de la ficha modelo de un ejemplar Élite publicado en el catálogo de 2014.....	186

LISTADO DE ABREVIATURAS UTILIZADAS

ANCCE - Asociación Nacional de Criadores de Caballo Español
BLUP - Best linear unbiased prediction
CML - Calificación morfológica lineal
CT - Centro de testaje
ID - Índice de desacuerdo
ISMDC - Índice de selección morfológico para la Doma Clásica
IGG - Índice Genético Global
JRR - Joven reproductor recomendado
LG - Libro genealógico
MAGRAMA - Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente
MERAGEM - Mejora de razas autóctonas y genética molecular
PC - Pruebas de campo
PRE - Pura Raza Español
PSCJ - Prueba de selección de caballos jóvenes
SICAB- Salón internacional del caballo

Resumen Summary



1. RESUMEN

El caballo Pura Raza Español (PRE) es la principal raza equina autóctona de España, tanto por su censo (65% del total de caballos de razas puras y el 80,6% de caballos de razas autóctonas; 180.063 ejemplares vivos) como por su contribución económica en el sector (el impacto económico para la ciudad de Sevilla de SICAB en 2014 fue de 30 millones de euros y un volumen de negocio aproximado de 60 millones). Su programa de mejora genética, aprobado mediante la resolución del 8 de mayo de 2012 (BOE-A-2012-7035), tiene como objetivo principal la mejora de la morfología, conformación y funcionalidad de la raza. Con el desarrollo de la presente Tesis Doctoral se ha querido profundizar en la caracterización morfofuncional de esta raza, en la optimización de los modelos de evaluación genética del rendimiento en Doma Clásica y en el diseño de un Índice de Selección Morfológico para la Doma Clásica que permita el máximo progreso genético en la población. Por ello, la presente Tesis Doctoral se ha estructurado en cuatro capítulos, donde se ha analizado cada uno de los objetivos específicos del programa de mejora de la raza.

Capítulo 1: *“Caracterización morfológica del caballo Pura Raza Español”*

Se ha abordado una caracterización morfológica, a partir de distintas variables zoométricas y de puntuaciones de concursos morfológicos, en el caballo PRE. En primer lugar se realizó un estudio de caracterización zoométrica a partir de 26 variables (alzadas, longitudes y angulaciones), sobre 52.681 caballos PRE (21.081 machos y 31.600 hembras), nacidos entre 1980 y 2013, y todos ellos con una edad superior a los 3 años. Este estudio nos ha permitido realizar un análisis de la evolución morfológica de la raza en los últimos 30 años, un análisis de las principales diferencias morfológicas existentes entre los caballos PRE dedicados a la Doma Clásica y aquellos que no participan en concursos funcionales y determinar la heredabilidad y las correlaciones genéticas entre las variables zoométricas analizadas. El dimorfismo sexual ha afectado de manera significativa al 62,50% de las variables analizadas. Además, se ha detectado un constante aumento de las dimensiones corporales en ambos sexos durante los últimos 30 años. También se han evidenciado diferencias morfológicas significativas según la aptitud de los animales analizados, en el 61,54% de las medidas zoométricas. El grupo de caballos PRE que participa en competiciones de Doma Clásica pudo ser morfológicamente discriminado principalmente por poseer un mayor tamaño corporal. Las heredabilidades de las variables zoométricas estudiadas han oscilado entre 0,31 (ángulo de la espalda) y 0,80 (alzada a la cruz). El 30% de las correlaciones genéticas tenían valores absolutos entre 0,20 y 0,50; y el 57,50% tuvieron valores superiores a 0,50. La correlación genética más alta fue de 0,97 (alzada a la cruz tanto con alzada al pecho como con alzada a la grupa).

En la segunda parte de este capítulo se ha realizado un análisis de las puntuaciones morfológicas que recibe el caballo PRE en los concursos de belleza de la raza y de los factores que las condicionan. Se utilizaron las 8 puntuaciones asignadas por los jueces a las distintas regiones morfológicas (cabeza-cuello, espalda-cruz, pecho-tórax, dorso-lomo, grupa-cola, extremidades delanteras, extremidades traseras y conjunto de formas) recogidas en 69 concursos celebrados entre 2006 y 2010. Con estas puntuaciones se evaluaron 5.097 caballos (50,7% hembras y 49,3% machos) con un promedio de 4,3 registros por caballo (21.917 puntuaciones totales). Los factores externos que más afectaban a las puntuaciones

otorgadas en los concursos fueron el propio concurso (15,7% de la varianza total), el juez (9,7%), la combinación juez*concurso (7,5%) y la combinación juez*tipo de concurso (2,4%). Por último, analizando el Índice de Desacuerdo se concluyó que los concursos con 3 jueces fueron los que mostraron una mayor concordancia entre las puntuaciones otorgadas a los animales participantes por cada uno de los jueces.

Capítulo 2: “*Sistema de Calificación Morfológica Lineal en el caballo Pura Raza Español*”

Se ha evaluado el sistema de Calificación Morfológica Lineal (CML) que está siendo utilizado para el control de rendimientos morfológico oficial del PRE. Para llevar a cabo este estudio se han estimado los parámetros genéticos de los rasgos morfológicos recopilados mediante la CML y se ha analizado la calidad de la información obtenida por los 12 calificadores que realizaron estos controles de rendimientos oficiales en la raza, a través de los parámetros de reproducibilidad y de repetibilidad. Los datos morfológicos procedieron de 4.158 registros de CML pertenecientes a 2.512 caballos PRE con edades comprendida entre 2 y 28 años (75,44% con edades comprendidas entre 3 y 7 años).

Los valores de repetibilidad han oscilado entre 0,61 y 1,00, obteniendo todos los calificadores, excepto el calificador 1, un valor de repetibilidad promedio aceptable ($>0,95$). La reproducibilidad de cada rasgo también ha sido estimada, presentando 30 de los rasgos un valor de reproducibilidad superior a 0,90 (la excepción fue el ángulo de la grupa con 0,89). Cabe destacar que los rasgos secundarios, con un coeficiente de variación superior al 30%, han sido los que han tenido los valores más bajos de la reproducibilidad (entre 0,89 y 0,96).

Se han estimado los parámetros genéticos de las 31 variables de la ficha de CML mediante un modelo animal multivariado, utilizando dos estrategias: A. Modelo de medidas repetidas (896 animales, con un promedio de 2,88 registros por animal) y B. Modelo sin medidas repetidas (2.512 animales, 1 registro por animal). Los efectos fijos incluidos en el modelo genético fueron la edad, el sexo, la ganadería criadora del animal y la combinación del concurso y el calificador. Las heredabilidades estimadas con la opción A oscilaron entre 0,07 (ángulo del hombro) y 0,36 (longitud de la cabeza) para los 20 rasgos primarios, y entre 0,07 (ángulo frontal de la rodilla) y 0,24 (unión cabeza-cuello) para los 11 rasgos secundarios. Las heredabilidades estimadas con la opción B fueron ligeramente inferiores a las obtenidas con la opción A, oscilando entre 0,02 (ángulo del hombro) y 0,27 (longitud de la cabeza) para los rasgos primarios, y entre 0,05 (ángulo del corvejón lateral) y 0,15 (unión cabeza-cuello) en los rasgos secundarios. El 45,0% y 39,8% de las correlaciones genéticas significativas fueron $\geq 0,50$ con los modelos A y B, respectivamente. Los parámetros genéticos obtenidos en este estudio indican que el sistema de CML es capaz de generar información de calidad sobre las características de conformación en la población de PRE y que la selección es factible, pudiéndose mejorar o corregir los caracteres morfológicos de los animales con un programa de apareamientos dirigidos entre reproductores basado en los valores genéticos de cada uno de los rasgos evaluados.

Capítulo 3: “*Funcionalidad: Doma Clásica*”

Se han estudiado los modelos de valoración genética utilizados en la disciplina de Doma Clásica, a partir de los controles de rendimiento de los caballos participantes en las Pruebas de Selección de Caballos Jóvenes (PSCJ), mediante un proceso de validación cruzada. Para ello, se utilizaron un total de 8.867 registros de rendimiento de Doma Clásica de 1.234 caballos diferentes, con edades comprendidas entre los 4 y 6 años, participantes en las PSCJ celebradas entre 2004 y 2011. La puntuación final en la prueba de Doma Clásica (puntos por reprise) se ha utilizado como medida de rendimiento. La matriz de parentesco contenía 8.487 caballos. Se aplicó un BLUP modelo animal, utilizando un enfoque bayesiano, con el software TM. La edad, el sexo del caballo, el tiempo de viaje previo a la prueba, el nivel de entrenamiento, la ganadería de nacimiento y el concurso se incluyeron como efectos sistemáticos en los 8 modelos analizados, además del efecto residual del animal. Se compararon los modelos combinando efectos aleatorios como el jinete, el binomio (interacción jinete-caballo) y el efecto ambiental permanente. Las hererabilidades obtenidas oscilaron entre 0,22 en el modelo más complejo y 0,59 en el más simple. La repetibilidad del rasgo resultó similar a las estimaciones de heredabilidad en los modelos que ignoraron el efecto ambiental permanente. El mejor modelo fue el que incluyó el efecto ambiental permanente, el jinete y el binomio jinete-caballo. En lo que se refiere a los efectos sistemáticos, el concurso y la ganadería de nacimiento resultaron ser los efectos esenciales para ajustar correctamente los datos. Todas las correlaciones encontradas entre los valores reconstruidos y los reales fueron altas. El modelo que incluyó el jinete, el binomio y el efecto ambiental permanente mostró la mayor correlación entre las puntuaciones estimadas y las puntuaciones reales (0,74). La habilidad de predicción disminuyó cuando los efectos sistemáticos fueron eliminados, en el siguiente orden: el jinete y el binomio, sólo el efecto binomio y sólo el efecto del jinete. Para los modelos con el efecto ambiental permanente, se obtuvieron resultados similares. Estas conclusiones están ayudando a optimizar el modelo de valoración genética del caballo PRE para la Doma Clásica y también pueden utilizarse para la evaluación genética de la aptitud funcional de otras competiciones hípicas, en las que participen ejemplares de PRE u otras razas equinas.

Capítulo 4: “Relación entre morfología y funcionalidad en el caballo Pura Raza Español”

Para realizar el análisis de la relación entre la funcionalidad y la morfología del caballo PRE se han llevado a cabo dos estudios. En primer lugar se ha analizado la relación genética entre 13 variables de conformación (medidas zoométricas) y 16 variables biocinemáticas del trote (4 lineales, 6 temporales y 6 angulares) obtenidas en condiciones experimentales sobre una cinta rodante. El estudio se ha realizado sobre 130 caballos PRE pertenecientes a 24 ganaderías diferentes, con edades comprendidas entre 4 y 7 años. Del total de correlaciones genéticas estimadas (206) entre las variables de conformación y las variables biocinemáticas, un 74,5% (155) fueron significativas y el 43,2% de estas estimaciones (67) fueron negativas, la mayoría de ellas (49,2%) con las variables angulares. La correlaciones genéticas más altas (0,70) se obtuvieron entre el ángulo máximo de la pelvis y el perímetro de la unión del cuello con el tronco y entre el ángulo máximo de la pelvis y el perímetro del tórax; y la más baja (0,02 en valor absoluto) se encontró entre la duración de la fase de apoyo de las extremidades posteriores y el perímetro de la rodilla. Tan solo el 10,32% de las estimaciones fueron mayores o iguales a 0,50 (en valor absoluto). La longitud de la grupa fue el rasgo más correlacionado con las variables

biocinemáticas al trote (con 16 variables) y la anchura de la grupa el menos correlacionado (7). La amplitud y la duración del tranco de la extremidad anterior fueron las variables biocinemáticas más correlacionadas con las variables de conformación (12), mientras que el ángulo mínimo del carpo fue el menos correlacionado (5). Todas las variables de conformación se correlacionaron genéticamente, de forma significativa, con variables biocinemáticas al trote.

En segundo lugar se ha realizado un estudio para determinar el mejor índice de selección para la Doma Clásica, usando como criterios de selección variables morfológicas (CML), variables funcionales o la combinación de ambos tipos. Una selección morfológica en el caballo PRE, que nos permitiría preseleccionar animales jóvenes por su aptitud morfo-funcional para la Doma Clásica, ahorraría tiempo y dinero al criador. Este es sin duda uno de los mayores retos del programa de mejora de esta raza y para ello se estableció el sistema de CML.

Se estimaron los parámetros genéticos necesarios para el diseño de los índices de selección (para un total de 6 rasgos de rendimiento deportivo en Doma Clásica y 26 rasgos morfológicos lineales). Estos modelos genéticos se ejecutaron en primer lugar de manera univariada para calcular las heredabilidades y los valores genéticos de cada animal para cada una de las variables estudiadas. Partiendo de estos valores genéticos, se realizó un análisis de regresión PLS aplicando la metodología de "regresión rango reducido" para seleccionar las variables morfológicas lineales con mayor poder predictivo sobre tres objetivos relacionados con el rendimiento deportivo para la Doma Clásica: los puntos totales por reprise; las 5 notas parciales evaluadas por los jueces en los ejercicios (paso, trote, galope, sumisión e impresión general) y las notas de los aires (paso trote y galope). Se escogió el criterio de Wold para seleccionar las variables, escogiendo en total 13 variables morfológicas lineales para elaborar los distintos índices de selección: anchura de la cabeza, unión cabeza-cuello, línea superior del cuello, unión cuello-tronco, anchura del pecho, ángulo de la espalda, ángulo lateral de la rodilla, ángulo frontal de la rodilla, perímetro de la caña, longitud de la grupa, ángulo de la grupa, distancia isquion-babilla y ángulo del corvejón lateral.

La respuesta genética de los diferentes índices de selección varió según los objetivos y/o criterios de selección escogidos. Cuando se utilizó como objetivo de selección los puntos por reprise y como criterios de selección las 5 variables parciales de Doma Clásica la respuesta carácter fue de 1,80. Usando como objetivo de selección las 5 variables parciales de Doma Clásica y como criterio los puntos por reprise la respuesta media fue de 0,16. Por último, usando como objetivo de selección los aires y como criterio la puntuación total por reprise, la respuesta fue de 0,14. Con los mismos objetivos de selección, pero incluyendo como criterios de selección sólo las variables morfológicas lineales seleccionadas (Índice de Selección Morfológico para la Doma Clásica), las respuestas fueron positivas pero inferiores respecto a los índices que incluían como criterios únicamente rasgos de rendimientos (0,76, 0,04 y 0,03, respectivamente). Cuando se incluyeron en los criterios de selección variables morfológicas lineales y de rendimiento, la respuesta fue similar a cuando se usaron solo como criterios de selección variables de rendimiento (2,97, 0,16 y 0,15, respectivamente). Estos resultados sugieren que es posible preseleccionar los caballos precozmente para participar en pruebas deportivas de Doma Clásica, a partir de los valores genéticos estimados utilizando el Índice de Selección Morfológico para la Doma Clásica (ISMDC), aunque la respuesta es más alta cuando se incluye en este índice criterios de selección funcionales.

SUMMARY

The Pura Raza Español horse (PRE) is the leading native equine breed in Spain, both by census (65% of purebred horses and 80.6% of indigenous breeds of horses, 180,063 live specimens) and for its financial contribution to the sector (economic impact for the city of Seville SICAB in 2014 was 30 million euros, with a turnover of approximately 60 million). Its breeding program, which was approved by resolution on May 8, 2012 (BOE-A-2012-7035), has as its main objective the improvement of the breed's morphology, shape and functionality. The aim of this Doctoral Thesis is to explore on a deeper level the morpho-functional characterization of this breed, optimizing the evaluation of its genetic models for dressage performance and the design of morpho-functional indices that allow the maximum genetic progress in the population. The thesis is therefore organized into four chapters, in which each of the specific objectives for improving the program of this breed is succinctly analyzed.

Chapter 1: "*Morphological characterization of the Pura Raza Español*"

The morphological characterization was obtained from different zoometric measurements and scores in morphological competitions. First, a characterization study of 26 zoometric measurements (height, lengths and angles) on 52,681 PRE (21,081 males and 31,600 females), born between 1980 and 2013, all over 3 years old, was performed. This study has allowed us to analyze their morphological evolution over the last 30 years, to assess the main morphological differences between PRE studs dedicated to dressage and those who do not participate in dressage events, and to determine functional heritability and genetic correlations among the zoometric measurements analyzed. Sexual dimorphism affected significantly 62.50% of the analyzed measurements. In addition, we detected a steady increase in body size in both genders over the last 30 years. Also, 61.54% of zoometric measures showed significant morphological differences according to the animals' functionality. The PRE group that competes in dressage could be morphologically discriminated primarily by its larger body size. Finally, we went on to estimate genetic parameters. The heritability ranged from 0.31 (angle of shoulder) and 0.80 (height at withers). 30.00% of the genetic correlations were absolute values between 0.20 and 0.50 and 57.50% had values over 0.50. The highest genetic correlation was 0.97 (height at withers both raised to the chest and at croup height).

In the second part of this chapter, an analysis has been carried out into the morphological scores that the PRE obtains in breed beauty events and the factors that condition it. 8 scores assigned by the judges to the different morphological regions (head-neck, shoulder-withers, chest-thorax, back-loin, croup-tail, forelimbs, hind limbs and overall forms) gathered at 69 morphological events which took place between 2006 and 2010, were used. With these scores, 5,097 horses (50.7% females and 49.3% males) were evaluated with an average of 4.3 records per horse (21,917 total scores). The external factors that most affected the scores awarded in competition events (15.7% of the total variance) were the judge (9.7%), the combination of event*judge (7.5%) and the combination of event*type of competition (2.4%). Finally, an analysis of the index of disagreement concluded that competitions with 3 judges were those which showed greater concordance between the scores given to the participating animals by each of the judges.

Chapter 2: “*Linear assessment methodology in the Pura Raza Español horse*”

We evaluated the linear morphological qualification (CML) proposed in the PRE improvement program. To carry out this study, we estimated the genetic parameters of the linear morphological traits and analyzed the quality of the information obtained by the 12 appraisers who made these official performance controls on the breed, through the parameters of reliability and repeatability. The morphological data came from 4,158 CML records belonging to 2,512 PRE horses with ages ranging between 2 and 28 (75.44% aged between 3 and 7 years old).

The repeatability values ranged between 0.61 and 1.00, with all the appraisers except appraiser 1 attaining an acceptable average value of repeatability (> 0.95). The reproducibility of each trait was also estimated, with 30 traits presenting a value of reproducibility over 0.90 (the exception being croup angle: 0.89). It should be noted that the secondary traits, with a coefficient of variation of over 30%, were those with the lowest values of reproducibility (between 0.89 and 0.96).

The genetic parameters of 31 CML traits were estimated using a multivariate animal model. The fixed effects included in the genetic model were age, gender, stud and the combination of competition and appraiser. To estimate the genetic parameters, two strategies were followed: A. a repeated measures model (896 animals, with an average of 2.88 records per animal) and B. a model without repeated measures (2,512 animals, 1 record per animal). The heritability estimated in option A ranged from 0.07 (angle of shoulder) and 0.36 (head length) for the 20 primary traits, and 0.07 (frontal angle of the knee) and 0.24 (head-neck junction) for the 11 secondary traits. The heritability estimated in option B was slightly lower than that obtained in option A, ranging from 0.02 (angle of shoulder) and 0.27 (head length) for the primary traits, to 0.05 (lateral hock angle) and 0.15 (head-neck junction) in the secondary traits. 45.0% and 39.8% of significant genetic correlations were ≥ 0.50 for models A and B, respectively. The genetic parameters obtained in this study indicate that the CML system is capable of generating good-quality information on the conformation characteristics in the PRE population and selection is possible, since the morphological characters of animals can be improved or corrected with a mating program based on the genetic values of the evaluated traits.

Chapter 3: “*Functionality: Dressage*”

The genetic evaluation models for dressage were studied through a cross-validation process using performance tests obtained from horses participating in the Selection Tests for Young Horses (PSCJ). For this, a total of 8,867 dressage performance records of 1,234 different horses, aged between 4 and 6 years old, which took part in the PSCJ held between 2004 and 2011, were used. The final score in the Dressage test (reprise points) has been used as a performance variable. The relationship matrix contained 8,487 horses. A BLUP animal model was applied, using a Bayesian approach with the TM software. Age, gender, travelling time, horse's training, stud and event were included as systematic effects in the 8 models tested, besides the residual effect of the animal present in all models. Apart from the animal and residual effects that were present in all models, different models were compared, combining random effects such as the rider, match (i.e. rider-horse interaction) and permanent environmental effects. The heritabilities obtained ranged from 0.22 to 0.59 for the most complex and the simplest model respectively. The repeatability of the trait was similar to the heritability estimates in models that ignored the permanent environmental effect. The best model was that which

included the permanent environmental effect, the rider and the horse-rider interaction. As regards systematic effects, the event and stud were found to be essential to properly adjust the data. All correlations between reconstructed and actual values were high. The model including the rider, the binomial and the permanent environmental effect showed the highest correlation between estimated and actual scores (0.74). The predictive ability decreased when systematic effects were eliminated in the following order: the rider and the binomial effect, only the binomial effect and only the effect of the rider. For models with the permanent environmental effect, similar results were obtained. These findings are helping to optimize the genetic evaluation model of the PRE horse for dressage and can also be used for the genetic evaluation of its functional capacity for other equestrian competitions.

Chapter 4: “*The relationship between morphology and function in the Pura Raza Español horse*”

Two studies have been conducted to analyze the relationship between functionality and morphology in the PRE. First, we analyzed the genetic relationship among 13 zoometric measurements and 16 biokinematic variables at the trot (4 linear, 6 angular and 6 temporary) obtained in experimental conditions on a treadmill. The study was conducted on 130 PRE belonging to 24 different studs, aged between 4 and 7 years old. Of the total estimated genetic correlations between the forming variables and biokinematic variables at the trot (206), 74.5% (155) were significant and 43.2% of these estimates were negative (67), most of them (49.2%) with the angular variables. The highest genetic correlation (0.70) was obtained between maximal angle of pelvis and neck body perimeter, and maximum angle of pelvis with thorax perimeter; the lowest (0.02 in absolute value) was found between hindlimb stance duration and knee perimeter. Only 10.32% of the estimates were higher or equal to 0.50 (in absolute value). Croup length was the most correlated trait with the biokinematic variables at the trot (correlated with 16 variables) and croup width was the least correlated trait (correlated with 7 variables). The amplitude and duration of the forelimb stride were the most correlated with the conformation variables (12), while the minimal angle of carpus was the least correlated (5). All the conformation measurements were genetically correlated, significantly, with biokinematic trotting traits.

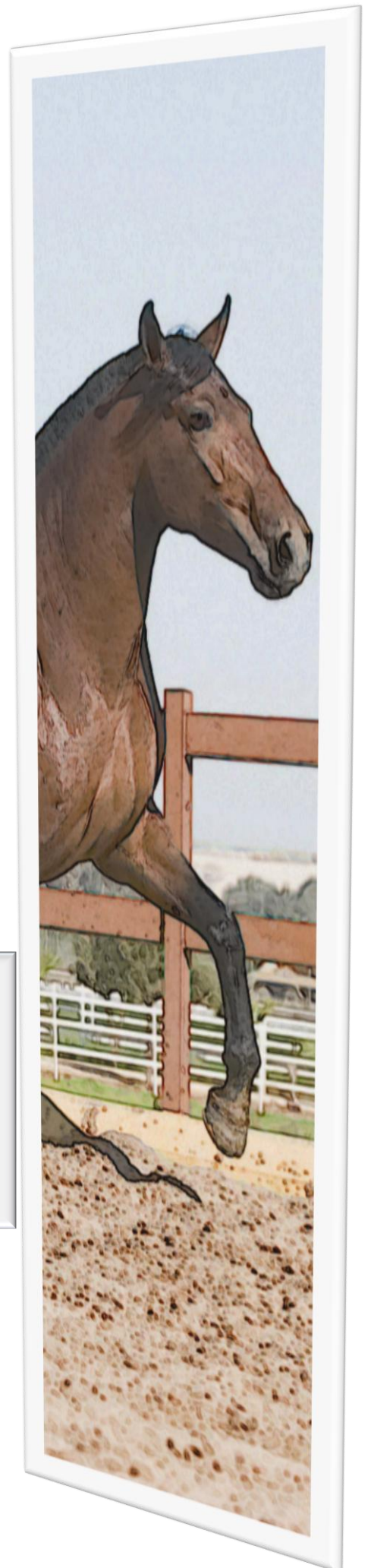
Secondly, a study was carried out to determine the best selection index for dressage performance using linear morphological qualification (CML), functional traits or a combination of both types of traits as selection criteria. A morphological selection which allows us to pre-select PRE young animals for their morpho-functional ability for dressage saves time and money for studs. This is undoubtedly one of the greatest challenges for the breed's improvement program.

The genetic parameters necessary for the design of the selection indices (6 traits of athletic performance in dressage and 26 linear morphological traits) were estimated. The genetic models were processes first in a univariate way to estimate the heritability and genetic values of each animal and trait studied. Starting from these genetic values, a PLS regression analysis was performed, using the methodology of "reduced rank regression" to select the linear morphological variables with greater predictive power for three objectives related to sports performance for dressage: total points reprise; 5 partial grades evaluated by judges in dressage exercises (walk, trot, canter, submission and general impression) and gait scores (walk trot and canter). The Wold criterion was chosen to select the linear morphological variables more related to functional objectives. In total, 13

linear morphological variables were chosen to produce different genetic indices: width of head, head-neck junction, upper neck line, neck-body junction, width of chest, angle of shoulder, lateral angle of knee, frontal angle of knee, cannon bone perimeter, length of croup, angle of croup, ischium-stifle distance and lateral hock angle.

The genetic response of different selection indices varied according to the objectives and/or selection criteria chosen. When reprise points were used as the selection objective and 5 partial Dressage traits were used as selection criteria, the response character was 1.80. Using the 5 partial Dressage traits as selection objective and reprise points as the selection criterion, the average response was 0.16. Finally, using gait as selection objective and the total reprise score as the selection criterion, the result was 0.14. With the same selection objectives, but including as selection criteria only the chosen linear morphological variables (Morphological Selection Index for dressage), the responses were positive but lower compared to the indices which included as criteria only performance traits (0.76, 0.04 and 0.07 respectively). When linear morphological variables and performance traits were included in the selection criteria, the response was similar to when only performance variables were used as selection criteria (2.97, 0.16 and 0.15 respectively). These results suggest that it is possible to pre-select horses early to participate in Dressage events from the estimated breeding values using the Morphological Index Selection for Dressage, although the result is three times higher when functional selection criteria are included in this index.

Introducción y Objetivos



2. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El sector equino en España es de gran importancia tanto por estar íntimamente ligado con la historia como por su impacto económico en nuestro país. En el último estudio económico del sector que data de 2013 (Deloitte, 2013), se determinó que el número de caballos en España en ese año ascendía a 723.496 cabezas en 175.429 explotaciones, de las cuales un 36% se concentran en Andalucía. Las actividades directamente relacionadas con el sector ecuestre, en sus diferentes fases y ámbitos (cría, entrenamiento, explotación del caballo y actividades transversales), supusieron durante el año 2013 un movimiento económico de 3.375 millones de euros, que se incrementan hasta los 5.303 millones de euros totales si se incluyen las actividades indirectas relacionadas con este sector, lo que representaría el 0,51% del producto interior bruto español (Deloitte, 2013). Por comunidades autónomas, Andalucía es la región en la que el sector ecuestre es más importante, representando el 32% del impacto económico directo total, con 1.719 millones de euros (Deloitte, 2013).

Dentro del sector equino, hay que destacar la importancia que adquiere el caballo de Pura Raza Española (PRE), al ser la única raza equina autóctona española de fomento. El auge y la popularidad de esta raza no sólo obedecen a sus inherentes atributos etológicos y morfológicos, sino que cada vez más a sus excelentes aptitudes deportivas en determinadas disciplinas como la Doma Clásica. El uso de ejemplares PRE con fines recreativos y deportivos está cada vez más extendido y popularizado tanto en nuestro país como en el extranjero, hacia donde se exporta un gran número de ejemplares nacidos y criados en España. Actualmente existen criadores de PRE en más de 60 países, destacando la fuerte presencia de esta raza en América Latina y su proyección actual en países como Rusia, China, Eslovenia y Eslovaquia.

En la cría equina en general, y en el PRE en particular, la conformación es un factor importante ya que la forma del cuerpo define los límites del rango de movimientos y funcionalidad del caballo y en última instancia su rendimiento (Schroderus and Ojala, 2010). Por ello, un insuficiente conocimiento de la influencia de la conformación en el rendimiento y en la propia salud y bienestar del animal, puede provocar una inadecuada selección de los reproductores para la cría (Sánchez et al., 2013). A pesar de que las variables de conformación están fuertemente unidas al rendimiento del caballo (Bakhtiari and Heshmat, 2009), tradicionalmente la funcionalidad y la morfología se han evaluado de forma independiente. Pero para avanzar en la selección morfológica de los caballos se ha hecho imprescindible la medida en conjunto de su capacidad morfofuncional, es decir, la información relativa a la conformación es utilizada en la selección indirecta de los parámetros de rendimiento funcional. Por ello, se puede considerar a la conformación como un objetivo de selección verdadero y propio, ya que se encuentra correlacionada con la mecánica del movimiento y con el rendimiento de los animales.

La Orden APA/ 1018/ 2003, de 23 de abril, viendo la necesidad imperiosa de incluir en los criterios de selección parámetros de conformación, establece que todas aquellas razas equinas españolas que quieran ser valoradas genéticamente por su morfología deben incorporar en su programa de mejora un sistema de Calificación Morfológica Lineal (CML). Este sistema permite seleccionar los animales en función de sus características morfofuncionales (morfología orientada a una

funcionalidad determinada), gracias a las correlaciones existentes entre cada uno de los rasgos evaluados linealmente y la aptitud específica de cada raza.

La CML es un sistema de valoración que busca obtener una información objetiva y útil para incorporarla en la valoración genética de los futuros reproductores con fines selectivos. Es una herramienta de selección, no un fin para los Programas de Mejora equinos, independientemente de los concursos morfológicos de cada raza.

Así mismo, dado el creciente interés de los ganaderos de PRE en obtener caballos de alto rendimiento que participen en competiciones deportivas mostrando buenos resultados, hay una creciente demanda de rasgos funcionales como objetivos de selección en el programa de mejora de la raza. Los caballos con buenas actuaciones en competiciones deportivas, como la Doma Clásica, adquieren un valor económico superior al resto de la población, ya que ésta es la competición deportiva más popular para el caballo PRE. Así, con el fin de recopilar datos para la valoración genética de caballos los caballos jóvenes (4-6 años) en diferentes disciplinas ecuestres, entre ellas la Doma Clásica, se crearon en 2004 las PSCJ en España.

El estudio de la relación entre la conformación y la aptitud funcional (especialmente para la Doma Clásica) constituye un campo en expansión en la crianza del caballo PRE. El conocimiento y la difusión de la correlación existente entre la morfología y la funcionalidad del caballo PRE pueden facilitar al ganadero la aplicación de criterios de selección morfofuncionales objetivos, que ayuden a disminuir la tradicional elección basada en juicios estéticos de caracteres morfológicos subjetivos en la cría.

En este sentido, la selección en la cría de caballos está orientada a generar un producto con determinadas características estéticas, pero sobre todo con una conformación funcional para obtener mejores resultados en las pruebas deportivas en las que participe. Una selección indirecta de los resultados deportivos, utilizando datos morfológicos, puede ser útil, ya que el rendimiento deportivo presenta menor heredabilidad y puede ser evaluado solo después de la participación de los animales en pruebas funcionales, lo que retrasa el proceso. La eficacia de la selección indirecta del rendimiento depende de la variabilidad genética de los aspectos morfológicos y de la correlación genética entre la conformación y los resultados deportivos. La inclusión de determinadas medidas cuantitativas de conformación (CML) en un Índice de Selección Morfológico para la Doma Clásica puede mejorar de forma considerable el sistema tradicional de valoración de un caballo para esta disciplina, al permitir una medida indirecta del rendimiento deportivo a través de la morfología.

Esta Tesis Doctoral se estructura en cuatro capítulos, conectados entre sí, que abordan distintos aspectos de la capacidad morfofuncional del PRE. Cada uno de estos capítulos está integrado por artículos científicos que presentan los resultados obtenidos durante el desarrollo de esta Tesis.

En el primer capítulo, se presenta una caracterización morfológica del PRE, en base a un conjunto de medidas zoométricas objetivas y de una serie de pruebas de evaluación de la morfología como el concepto de belleza según el patrón racial. Este capítulo está integrado por dos trabajos:

- **Sánchez, M.J.,** Molina, A., Gómez, M.D., Peña, F., Valera, M. (2015). Relationship between morphology and performance: signature of mass-selection in Pura Raza Español horse. *Livestock Science* (sometido).
- **Sánchez, M.J.,** Gómez, M.D., Molina, A., Valera, M. (2014). Assessment scores in morphological competitions of Pura Raza Español horse. *International Journal of Agriculture and Biology*, 16 (3), 557-563.

En el segundo capítulo se realiza un análisis del Sistema de CML aplicado a la población equina del PRE, estimándose los niveles de heredabilidad y las relaciones genéticas existentes entre los diferentes caracteres morfológicos lineales. Los resultados de este estudio se incluyen en el trabajo:

- **Sánchez, M.J.,** Gómez, M.D., Molina, A., Valera, M. (2013). Genetic analyses for linear conformation traits in Pura Raza Español horses. *Livestock Science*, 157, (1), 57-64.

En el tercer capítulo, se incluye un análisis de la Valoración Genética de la Doma Clásica en PSCJ para los caballos PRE, estimándose los niveles de heredabilidad y la importancia del factor jinete, así como la manera de incluirlo en un modelo de valoración genética. Los resultados de este estudio se incluyen en el trabajo:

- **Sánchez, M.J.,** Cervantes, I., Valera, M., Gutiérrez, J.P. (2014). Modelling genetic evaluation for dressage in Pura Raza Español horses with focus on the rider effect. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 131 (5), 395-402.

Los resultados de esta valoración genéticas se han publicado en el libro:

- **Sánchez M.J.,** Azor P.J., Gómez M.D., Molina A., Solé M., Valera M. (2014). *Catalog of PRE Breeding Stock - 2014 Dressage and Eventing*. ISBN: 978-84-697-1746-2. Páginas: 71. Edita: Asociación Nacional de Criadores de Caballos Pura Raza Española

Y en el cuarto y último capítulo se realiza el análisis de la relación entre los caracteres morfológicos y la funcionalidad, y la implementación de un Índice de Selección Morfológico para la Doma Clásica. Los resultados más importantes de este capítulo se encuentran publicados en los trabajos:

- **Sánchez, M.J.,** Gómez, M.D., Molina, A., Valera, M. (2014). Relationship between conformation trait and gait characteristics in Pura Raza Español horses. *Archiv Tierzucht* 56 (1), 137-148.
- **Sánchez, M.J.,** Molina, A., Cervantes, I., Gutiérrez, J.P., Valera M. (2015). Designing an early selection morphological linear traits index for dressage in Pura Raza Español horse. *Journal of Animal Science* (sometido).

OBJETIVOS

El objetivo principal de esta Tesis Doctoral es el análisis de los sistemas de control de rendimientos y la estimación de los parámetros genéticos de caracteres morfológicos y funcionales en el caballo Pura Raza Español, con el fin de optimizar su programa de mejora genética. Este objetivo general se estructura en cuatro objetivos específicos, que coinciden con los cuatro capítulos en los que se ha estructurado la presente Tesis Doctoral:

- Realizar una caracterización morfológica del caballo Pura Raza Español. Este estudio se efectuará a partir de medidas zoométricas, que permitirán describir la conformación actual de la raza y su evolución en el tiempo. Además, se analizará el sistema de valoración morfológica tradicional por puntos y sus inconvenientes cuando se utiliza para la selección genética del caballo Pura Raza Español.
- Analizar, desde el punto de vista genético, la adecuación del sistema de Calificación Morfológica Lineal del caballo Pura Raza Español, determinado, a partir de los controles de rendimientos realizados en esta raza, tanto los parámetros genéticos de los caracteres morfológicos lineales, como la fiabilidad de este sistema para su utilización en el control de rendimientos y en la posterior valoración genética.
- Determinar el mejor modelo de valoración genética en caballos jóvenes, para caracteres funcionales de Doma Clásica utilizando un proceso de validación cruzada.
- Analizar la relación entre la conformación del caballo Pura Raza Español con la funcionalidad, especialmente orientada a la Doma Clásica, tanto a partir de variables biocinemáticas como de rendimiento en concursos de Doma Clásica. Y diseñar un Índice de Selección Morfológico para la Doma Clásica para la preselección de caballos jóvenes para competiciones de Doma Clásica.

CAPÍTULOS



3. CAPÍTULOS

3.1 CAPÍTULO 1: CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DEL CABALLO PURA RAZA ESPAÑOL

Este primer capítulo está constituido por dos artículos científicos:

- Sánchez, M.J., Molina, A., Gómez, M.D., Peña, F., Valera, M. (2015). Relationship between morphology and performance: signature of mass-selection in Pura Raza Español horse. *Livestock Science* (sometido).
- Sánchez, M.J., Gómez, M.D., Molina, A., Valera, M. (2014). Assessment scores in morphological competitions of Pura Raza Español horse. *International Journal of Agriculture and Biology*, 16 (3), 557-563

RESUMEN

El primer capítulo de la presente Tesis Doctoral aborda la caracterización morfológica del caballo Pura Raza Español (PRE) a partir de distintas variables morfológicas. Este capítulo está compuesto por dos trabajos científicos donde se recogen los principales resultados del análisis morfológico realizado a partir de variables zoométricas (artículo 1) y de puntuaciones en concursos morfológicos (ideal de belleza respecto al patrón racial) de la raza (artículo 2).

En primer lugar se ha realizado un estudio de caracterización zoométrica, mediante medidas morfológicas en el PRE y un análisis de la evolución morfológica en los últimos 30 años de la raza, analizando las principales diferencias morfológicas existentes entre los caballos de PRE dedicados a la Doma Clásica y aquellos que no participan en concursos funcionales. Los resultados de este trabajo se han plasmado en el artículo ***“Relationship between morphology and performance: signature of mass-selection in Pura Raza Español horse”***. Sometido en 2015 en la revista *Livestock Science*.

Para realizar esta caracterización, se han analizado un total de 26 variables zoométricas (alzadas, longitudes y angulaciones) de 52.681 caballos PRE (21.081 machos y 31.600 hembras), nacidos entre 1980 y 2013 y todos ellos con una edad superior a los 3 años.

Los resultados de este estudio han mostrado que actualmente los caballos PRE son eumétricos con formas cuadrangulares, ligeramente "lejos de la tierra", con la alzada a la grupa similar a la alzada a la cruz y con las extremidades delgadas. El dimorfismo sexual, que ha afectado de manera significativa al 62,50% de las variables analizadas, se ha evidenciado en los mayores valores obtenidos por los machos para la mayoría de las medidas zoométricas (alzadas y longitudes). Además, se ha detectado un constante aumento de las dimensiones corporales en ambos sexos, durante los últimos 30 años.

En este trabajo también se han evaluado las diferencias morfológicas entre los caballos que han sido criados para participar en ejercicios de Doma Clásica y los que no participan en concursos y pruebas funcionales, mediante una comparación de medias usando el test de Benjamini y Hochberg y un análisis discriminante canónico. El test de Benjamini y Hochberg evidenció las diferencias morfológicas significativas existentes, según la aptitud de los animales analizados, en el 61,54% de las medidas zoométricas. Además, se ha observado que el grupo de caballos PRE criados en ganaderías que han participado en competiciones de Doma Clásica puede ser morfológicamente discriminado principalmente por poseer un mayor tamaño corporal. También se ha procedido a estimar los parámetros genéticos de las variables zoométricas que se diferencian según la funcionalidad del PRE y las correlaciones genéticas existentes entre ellas. Las heredabilidades han oscilado entre 0,31 (ángulo de la espalda) y 0,80 (alzada a la cruz), y las correlaciones genéticas han alcanzado el valor de 0,97. La conformación específica de los animales del grupo de Doma Clásica, podría tenerse en cuenta en el programa de mejora de la raza para determinar el potencial funcional de los animales, dado que los caballos con (o sin) una aptitud específica para la Doma Clásica pueden ser diferenciados por sus formas corporales.

En el segundo trabajo de este capítulo se ha realizado un análisis de las puntuaciones morfológicas que se recogen en los concursos de belleza del caballo PRE y de los factores que les afectan. Los resultados de este estudio se han plasmado en el artículo *“Assessment Scores in morphological Competitions of Pura Raza Español Horse”*, publicado en la revista *International Journal of Agriculture and Biology*, en el año 2014.

Para realizar el estudio se utilizaron 8 puntuaciones morfológicas respecto al ideal de belleza que establece el patrón racial (cabeza-cuello, espalda-cruz, pecho-tórax, dorso-lomo, grupa-cola, extremidades delanteras, extremidades traseras y conjunto de formas recogidas en 69 concursos morfológicos celebrados entre 2006 y 2010). Con estas puntuaciones se evaluaron 5.097 caballos (50,7% hembras y 49,3% machos) con un promedio de 4,3 registros por caballo (21.917 puntuaciones totales). Se realizó un análisis multivariante de la varianza para analizar la posible influencia de diversos factores (el concurso, la sección dentro de concurso donde competía el caballo, el juez de morfología que lo evaluaba, el nivel del concurso dependiendo del número de jueces, la ganadería, la capa y las interacciones del juez con los distintos factores) en las puntuaciones que los jueces otorgaban a las diferentes regiones corporales.

Los factores externos que más afectaban en las puntuaciones otorgadas en los concursos morfológicos del caballo PRE fueron el propio concurso (15,7% de la varianza total), el juez (9,7%), la combinación juez*concurso (7,5%) y la combinación juez*tipo de concurso (2,4%).

Por último, se utilizó el Índice de Desacuerdo (ID) propuesto por Stachurska and Bartyzel (2011¹) para estudiar la concordancia existente entre los distintos rankings de los animales participantes en los concursos morfológicos (creados a partir de las notas morfológicas de cada juez). Se considera que cuando los jueces coinciden en su puntuación, los animales se clasificarían para cada uno de los

¹ Stachurska, A. and K. Bartyzel, 2011. Judging dressage competitions in the view of improving horse performance assessment. *Acta Agric. Scan. Section A – Anim. Sci.*, 61: 92–102

jueces en el mismo orden y consecuentemente el ID realiza una estimación de la concordancia entre las notas que otorgan los jueces y muestra, en porcentaje, cuál es la diferencia del ranking establecido por un juez en particular respecto a la clasificación total basada en la suma de las puntuaciones otorgadas por los otros jueces que participan en la misma competición. En este sentido, un ID pequeño indica que las puntuaciones de los jueces participantes en un concurso son consistentes con el ranking final del animal evaluado. El ID de los concursos con 2, 3 y 5 jueces tuvo respectivamente un promedio de 36,18%, 14,52% y 22,30%. Es decir, los concursos con 3 jueces fueron los que mostraron una mayor concordancia entre las puntuaciones otorgadas a los animales participantes por cada uno de los jueces. Y por el contrario hubo un mayor desacuerdo en los concursos puntuados por 2 jueces.

A la vista de los resultados obtenidos en este capítulo, se recomienda en primer lugar no usar las calificaciones otorgadas por los jueces en concursos morfológicos para la mejora genética de la conformación en el caballo de PRE, y en segundo lugar analizar en el programa de mejora de la raza la posibilidad de establecer dentro del patrón racial un prototipo morfológico para los caballos que se orienten a las competiciones de Doma Clásica.

3.1.1 ARTÍCULO 1 (CAPÍTULO I). RELATIONSHIP BETWEEN MORPHOLOGY AND PERFORMANCE: SIGNATURE OF MASS-SELECTION IN PURA RAZA ESPAÑOL HORSE.

Título: Relación entre morfología y rendimiento: selección masal en el caballo Pura Raza Español.

Autores: Sánchez M.J.¹, Molina A.², Gómez M.D.¹, Peña F.³, Valera M.¹.

Afiliaciones:

¹ Departamento de Ciencias Agro-Forestales, Universidad de Sevilla, Ctra. Utrera km 1, 41013-Sevilla, España.

² Departamento de Genética, Universidad de Córdoba, Ctra. Madrid-Cádiz Km.396^a, 14071-Córdoba, España.

³ Departamento de Producción Animal, Universidad de Córdoba, Ctra. Madrid-Cádiz Km.396^a, 14071-Córdoba, España.

Revista: **Livestock Science (sometido)**

Índice de impacto: 1,171 (Journal Citation Report, 2014).

Área y cuartil: "Agriculture, dairy y animal science" 2º cuartil (18/57).

*Manuscript

[Click here to download Manuscript: Morphology and performance.docx](#)

[Click here to view linked References](#)

1 **Title**

2 ***Relationship between morphology and performance: signature of mass-***

3 ***selection in Pura Raza Español horse***

4 ***Authors names: M.J. Sánchez-Guerrero^{a*}, A. Molina^b, M.D. Gómez^a, F. Peña^c and***

5 ***M. Valera^a.***

6 ***Authors' affiliations:***

7 ^a *Departamento de Ciencias Agroforestales, Universidad de Sevilla, Ctra. Utrera km*
8 *1, 41013-Sevilla, España.*

9 ^b *Departamento de Genética, Universidad de Córdoba, Ctra. Madrid-Cádiz Km.396^a,*
10 *14071-Córdoba, España.*

11 ^c *Departamento de Producción Animal, Universidad de Córdoba, Ctra. Madrid-Cádiz*
12 *Km.396^a, 14071-Córdoba, España.*

13

14 ^{*} *Corresponding author: María José Sánchez-Guerrero. E-mail:*

15 *v32sagum@gmail.com.*

16

17 Abstract

18 Horse conformation is considered an indicator of performance, which plays an
19 important role in breeding decisions. Apart from conformation, Pura Raza Española
20 horse (PRE) breeding goal is to improve its functionality, and they are being selected
21 by some studs over the last decades as a dressage sport horse. This process may
22 be accompanied by a mass selection which has probably caused morphological
23 changes in recent decades. This paper has three main aims: to evaluate the
24 evolution of body conformation in PRE over the last three generation intervals (GI), to
25 evaluate the current morphological differences of PRE selected by stud to participate
26 in dressage with the others and to estimate the genetic parameters in order to show
27 the possible response to an individual mass selection. A maximum of 26
28 morphological measurements (MM) from 52,681 PRE collected between 1980 and
29 2013 were split into three groups of 11 years (GI). The GLM showed that gender and
30 GI were significant factors in all the MM analyzed in the last 30 years. In the current
31 PRE population, gender and functionality were significant factors for 17 and 16 MM
32 respectively. The heritabilities ranged from 0.31 (angle of shoulder) to 0.80 (height at
33 withers). There 57.5% of the genetic correlations were higher than 0.50. The
34 predicted breeding values were different for dressage and non-dressage
35 subpopulations.

36 **Keywords:** Conformation, morphological measurements, dressage, genetic
37 parameters, sexual dimorphism.

38

39 Introduction

40 The need for precise examination of exterior and skeletal features of populations and
41 their relation with functionality are a subject of increasing interest in most horse
42 breeds (Komosa et al., 2013). Two of the main selection criteria in breeding programs
43 for many horses are morphological traits and gaits. The horse conformation (the
44 morphology of the horse's body which describes the lines, musculature and
45 characteristics) is a result of natural and artificial selection for various purposes. It is
46 considered a reliable indicator of horse performance, which plays an important role in
47 modern sport horse purchase and breeding decisions because it defines the horses'
48 gait, movements and locomotion (Brooks et al., 2010; Solé et al., 2013). Thus, there
49 has been a constant supply of publications in this area, since an insufficient
50 knowledge of the influence of conformation on animal performance, health and
51 welfare can result in breeders making a poor selection (Holmström and Philipsson,
52 1993). The morphological conformation can be evaluated objectively (linear scoring
53 system, quantitative morphological measurements) or subjectively (scored
54 morphological evaluations of regional conformations). Both methodologies of
55 evaluating the morphology are at present used in Pura Raza Española horses (PRE)
56 (Sánchez et al., 2014b, 2013). Conformation could therefore act as an indication of
57 the economic value of the animal; and specifically in the case of the Pura Raza
58 Español Horse (PRE), the conformation has been studied by different authors, mainly
59 based on objective body measurements of the animals (Gómez et al., 2012; Molina
60 et al., 1999; Sánchez et al., 2014a; Solé et al., 2013).

61 The PRE, traditionally known as Andalusian horse, is one of the oldest European
62 horse breeds and the most important horse by census in Spain. However the PRE
63 has been traditionally selected by the studs almost exclusively for their morphological

64 and behavioral features, at present, some studs of PRE are selecting them as sport
65 horses, and this process may be accompanied by changes in the horse's
66 conformation. Thus, the quantification of changes in conformation over the last
67 generation intervals (GI) and its influence on functionality could be an important part
68 of a more objective approach to evaluating the PRE breeding program. Therefore,
69 the main aims in this study were (first) to analyze the evolution of body conformation
70 in PRE stallions and mares over the last three GI and its possible causes, in which
71 the impact of the selection carried out by the breeders towards a dressage horse is
72 included; (second) to analyze the relationship between conformation and the use of
73 the PRE as a sport horse in the current population; and (third) to estimate the genetic
74 parameters for evaluating the potential response to mass selection.

75

76 **Material and methods**

77 *Animals*

78 Data for the analysis were collected from 8541 different morphological and/or
79 studbook register tests (events) for PRE in Spain held between 1980 and 2013. They
80 included morphological evaluation of 52,681 PRE (21,081 stallions and 31,600
81 mares), aged between four and 23 years old with an average age of 5.0 ± 2.13 years.
82 Based on the year of birth and the GI (an average of 11 years, Valera et al., 2005),
83 the dataset was split into three time periods: Period A included animals born before
84 1990 (8285 horses), Period B contained animals born from 1990 to 2001 (32,422)
85 and Period C included animals born from 2002 to 2013 (11,974) in order to chart the
86 morphological evolution and gender dimorphism through the time. For each horse, a
87 maximum of 26 morphological measurements (MM) were systematically collected in
88 official controls of the breed (Figure 1), using standard measuring sticks, non-elastic

89 measuring tape and zoometric compasses, according to the variable. All
90 measurements were taken from the left side of the horse while it was standing on a
91 hard surface and flat ground, assuming a natural position. The horses were
92 positioned for measurement with the front legs and hind feet parallel and as near to
93 perpendicular as possible; the toes were in line. No sedatives were used. In the
94 period A and B only eight MM were collected: height at withers, height at chest, width
95 of chest, length of body, dorso-esternum diameter, perimeter of thorax, perimeter of
96 knee and perimeter of cannon bone but in the current population (last GI named
97 period C), the 26 MM were collected. The analysis of the evolution of PRE
98 conformation over the last three GI was therefore carried out with 52681 horses
99 through eight MM. In addition to study the current situation of the PRE population and
100 to analyze the relationship between conformation and functionality in the current
101 population, the 26 MM were used. Thus, the 11,974 PRE of the current population
102 were split up in two groups by each gender depending on the functional selection
103 criteria: PRE belonging to collaborating studs in the improvement of dressage into
104 the breeding program (D, 3494 animals, 1207 stallions and 2287 mares) and horses
105 that have non-dressage activity records (ND 8480 animals, 2840 stallions and 5640
106 mares).

107 *Statistical procedure and genetic model*

108 The gender and period effects were studied by a General Linear Model (GLM). Least
109 squared means (LS-means) were calculated for all the analyzed traits (8 MM over the
110 past 30 years for both genders) and a Tukey post-hoc test of significant traits was
111 carried out to determine their significant differences. The coefficients of variation and
112 their significant differences were compared among the three period within gender, by
113 obtaining the confidence interval of each coefficient ($\alpha = 0.05$) with a noncentral

114 t-distribution (Kelley, 2007). This was implemented by the `ci.cv` (MBESS) function in
115 R language.

116 To show the PRE' morphological differentiation depending on the functionality group
117 (ND or D), the 26 MM collected in period C were analyzed and the least square
118 means were contrasted and fixed the false discovery rate according to the Benjamini
119 and Hochberg (1995) approximation, given the large number of contrast required.

120 The statistically different measurements and indices among the groups were
121 analyzed in a canonical discriminant analysis using the functionality horse type within
122 gender as a categorical factor in order to analyze the underlying structure of the data
123 and to determinate the morphology related to performance for the current population.

124 All analyses were carried out using Statistica v. 8.0 (StatSoft Inc., 2007). The genetic
125 parameters of the 16 MM distinguished by its influence on the selection of dressage
126 horses measured in period C (11,974 horses) were estimates to analyze if the mass
127 selection into stud would provide a response to these MM. The genetic model carried
128 out to estimate genetic parameters was a multitrait REML animal model, using VCE6
129 software (Groeneveld et al., 2010):

$$130 Y_{ijklm} = Ag_i + Ge_j + Reg_k + Ye_l + Dr_m + a_n + e_{ijklmn}$$

131 where Y were the MM traits; Ag_i the fixed effect of the i-th age group (9
132 classes: 3,4,5,6,7,8,9,>10 years old); Ge_j the j-th gender (2, male and female); Reg_k
133 the k-th geographic stud zone into Spain (1, ... , 45), Ye_l the l-th year of
134 measurement (1, ... , 11); Dr_m the m-th dressage selection by the stud (yes or not);
135 a_n the random effect of the animal n-th (1, ... , 40361) and e_{ijklmn} random residual
136 error effect.

137 Pedigree information was collected from the PRE official studbook. At least four
138 generations of the horses on record were considered, making a total of 40361

139 animals. The MM genetic evolution according to its functionality was studied using
140 the mean predicted breeding values for each IG.

141

142 **Results**

143 *Evolution of Pura Raza Español horse body conformation*

144 The factorial GLM results and *a posteriori* comparison of LS-means of MM in stallions
145 and mares, measured for the three analyzed GI and the two genders of PRE breed
146 were shown in Table 1. The GI was a significant effect for all traits. LS-means
147 analysis shown significant differences across the three GI for stallions (in six MM)
148 and for mares (in eight MM). In general, over the last 30 years, both stallions and
149 mares have become bigger in all the lengths and heights analyzed, while they have
150 remained similar in perimeters. From the data available in this study, the stallions
151 progressively and significantly ($P < 0.05$) increased their average height at withers by
152 four cm (from 157 cm for the animals included in period A to 161 cm in those for
153 period C). The same trend was observed in the mares, which measured 155 cm
154 (period A) and reached 158 cm in the last 10 years analyzed. Body length has also
155 shown a significant increase, from 158 cm to 160 cm and 159 cm, for stallions and
156 mares respectively. In addition, the average dorso-sternum diameter (from 72 cm to
157 74 cm) and height at chest (from 84 cm to 86 cm in males and from 82 to 83 cm in
158 females) increased both in stallions and mares. LS-means analysis determined
159 significant differences in both genders for all the MM analyzed except dorso-sternum
160 diameter in the first and the last period (Table 1). Both heights (at withers and at
161 chest) and length of body have been significant higher in stallions than in mares
162 during the three periods studied. Dorso-sternum diameter and perimeter of thorax

163 were greater in mares. Whereas width of chest, perimeter of knee and cannon bone
164 perimeter were greater in stallions.

165 The coefficient of variation (C.V. values not shown in tables) showed moderate-low
166 values in most of the variables analyzed, except for width of chest with values higher
167 than 10%. The smallest C.V. was for the height at withers in period A (2.6%). The
168 C.V. reported for the horses included in period A were always significantly different
169 from those for the animals included in period B, and again significantly different from
170 those of period C. In addition, most of the C.V. of the different MM (seven) have
171 increased over the time, in both genders (results not showed).

172 *Relationship between morphology and functionality in the current Pura Raza Español*
173 *horse*

174 An important aim of this paper was to analyze whether breeders are choosing
175 animals with a specific morphology when they select them for sport activities and this
176 conformation is feasible for selection. To achieve this, LS-means comparison of 26
177 MM available for the current PRE population were analyzed (Table 2). There were 16
178 MM (height at withers; height at chest; height at croup; length of head; length of
179 shoulder; width of chest; length of body; length of croup; length of gaskin; depth of
180 croup; bicostal diameter; dorso-sternum diameter; perimeter of thorax; perimeter of
181 knee; perimeter of cannon bone and angle of shoulder) with significant differences
182 according to whether PRE had participated in dressage sports or not and 17 MM
183 (height at withers; height at chest; height at croup; length of head; width of head;
184 length of neck; length of shoulder; width of chest; length of forearm; length of loin;
185 length of croup; width of croup; length of gaskin; depth of croup; perimeter of thorax;
186 perimeter of knee and perimeter of cannon bone) which showed significant
187 differences by the gender factor (Table 2). The heritabilities of the 16 MM that

188 showed significant differences depending on the functionality, ranged from 0.31
189 (angle of shoulder) to 0.80 (height at withers). The 30.00% of the genetic correlations
190 had absolute values between 0.20 and 0.50, and the 57.50% had values higher than
191 0.50. The highest correlation was 0.97 (height at croup with height at withers and
192 height at chest). Only angle of shoulder was not a strong relation with height at
193 withers, and it was also the MM lowest correlated with the others, so much so that
194 there were no correlation higher than 0.34 between angle of shoulder and others.
195 The angle of shoulder and bicostal diameter had negative genetic correlations with
196 length of gaskin, although both genetic correlations had low/moderate magnitude (<-
197 0.30). There were negative correlations but none of them were higher than -0.27
198 (Table 3). The canonical discriminant analysis with the subset of significant variables
199 (previously determined as most "responsible" for the differentiation between the
200 performance types described above) was shown in Figure 2, where root one allowed
201 differentiation by gender, whereas root two allowed differentiation of the two groups
202 that included dressage ability as a selection criteria (Stallions-Dressage and Mares-
203 Dressage) from those which did not include dressage ability as a selection criteria
204 (Non-Dressage Stallions and Mares). The MM genetic evolution according to the
205 functionality of the animals was analyzed. The MM selected had a genetic evolution
206 differentiated between studs who selected PRE for its dressage potential and the
207 others studs. While those MM no related with dressage had not this differentiated
208 tendency for each group. A total of four MM, two of each group (those that were and
209 were not significant), were represented exemplary in Figure 3. But other followed a
210 similar trend.

211

212 **Discussion**

213 *Evolution of Pura Raza Español horse body conformation*

214 Size and body conformation are critically important traits in nearly all horse breeds
215 and they are presumably subject to a strict process of selection over time (Brooks et
216 al., 2010). They were studied in order to identify the patterns of skeletal size and
217 shape selection that have existed in the PRE population over the last three IG. The
218 values of heights, widths, depths and perimeters recorded during the three periods
219 were similar to those obtained by Molina et al. (1999) and Gómez et al. (2009a,
220 2009b) in the same breed. The general uninterrupted increase in PRE heights,
221 widths, depths and perimeters could be due to improved feeding and handling of the
222 animals, as well as selective pressure of the PRE studbook, which sets no upper limit
223 to horse size - although since 2012, lower limits (154 cm for stallions and 152 cm for
224 mares) were imposed for the horses registered as reproducers. Barrey et al. (2002)
225 compared the dressage ability in French saddle horses, German horses and PRE,
226 finding differences on their conformation: PRE were smaller, their necks and backs
227 were shorter, limb segments were also shorter and joint angles were smaller. The
228 general increase in size could therefore be due to the stud attempting to raise horses
229 with a conformation more on par with central European horses which perform
230 dressage. If we look carefully at their evolution, we can see that if stallions only are
231 considered, the current PRE is higher than some European breeds: Arabian
232 Purebred (Cervantes et al., 2009); Lipizzaner (Zechner et al., 2001); Menorquin
233 Purebred (Solé et al., 2013); Noriker draught population (Druml et al., 2008);
234 Thoroughbred (Bakhtiari and Heshmat, 2009); and American horses: American
235 Quarter Horse, American Paint Horse and Appaloosa (Petlachová et al., 2012) and
236 Marchador Mangalarga (Pinto et al., 2008). However, it remains smaller than other
237 European horses (most of those typically used in dressage competitions): Dutch

238 Warmblood, Hannoverian, Holsteiner, Irish Sport Horse, Oldenburg, Trakehner
239 (Brooks et al., 2010); and Old Kladruby (Petlachová et al., 2012) and Swedish
240 Warmblood (Holmström et al., 1990). Similar results were obtained if PRE height at
241 chest was compared with the American Quarter Horse, American Paint Horse,
242 Appaloosa, Lipizzaner and Old Kladruby (Petlachová et al., 2012). The length of body
243 increased less than height at withers through the three periods considered, which
244 modified the body proportionality of this breed to a squarer shape. The current PRE
245 is longer than Arabian Purebred (Cervantes et al., 2009), Marchador Mangalarga
246 (Bakhtiari and Heshmat, 2009) and Menorquin Purebred (Solé et al., 2013). The
247 dorso-sternum diameter increased from period A to C in both genders and the
248 perimeter of thorax increased markedly between period A and B in both genders. In
249 period C, this measurement has decreased in both genders, but it continues being
250 higher than the same trait in period A, in keeping with the evolution of width of chest.
251 PRE mares surpassed stallions in perimeter of thorax, as previously reported
252 (Gómez et al., 2009a; Molina et al., 1999; Sadek et al., 2006). Width of chest was
253 greater than the Lipizzaner horse and Old Kladruby, but smaller than American
254 Quarter Horse, American Paint Horse, Appaloosa (Petlachová et al., 2012). The limbs
255 have continued thinner over time. Although the perimeter of the different bone radii
256 (knee and cannon bone) have increased slightly (under +1cm in 30 years). This could
257 be due to the overall size increasing.

258 Sexual dimorphism denotes physical differences in body size associated with gender.
259 Several studies have shown differences during post-fetal development between
260 stallions and mares for almost all linear measurements (Pinto et al., 2008; Purzyc et
261 al., 2011; Zechner et al., 2001), although Boujenane et al. (2008) stated that these
262 differences in parameters other than head measurements could be more closely

263 related to the different activity performed by the stallions and mares than to other
264 factors. Zechner et al. (2001), in Lipizzaner horses, found that the stallions were on
265 average bigger than mares, although gender differences were only significant in a
266 few traits. Holmström et al. (1990), in Swedish Warmblood horses, found that mares
267 were smaller and had longer bodies and shorter limbs than stallions. Purzyc et al.
268 (2011) found differences depending on gender in Hucul horses, but only in height at
269 the croup, pelvis width and width of chest. Sadek et al. (2006) in Arabian horses and
270 Mcmanus et al. (2008) in Pantaneiro horses also reported that gender was a
271 significant source of variation for most measurements and indices studied. In
272 contrast, Jakubec et al. (1999), in the Old Kladrub Horse, showed that gender tended
273 not to be a significant source of variation for some linear measurements; while Lovšin
274 et al. (2001) observed no sexual dimorphism in Lipizzaner horses in the early stages
275 of post-fetal development.

276 In the analysis of the PRE, gender was a significant factor for most of the MM studied
277 during the three periods. It could indicate that this breed has been affected by sexual
278 dimorphism in its evolution, chiefly affecting traits related to body size (Table 1). The
279 PRE MM indicated that stallions were on average taller and larger than mares, in
280 agreement with Molina et al. (1999) and Gómez et al. (2009a, 2009b) for the same
281 breed. However, mares surpassed stallions in perimeter of thorax, as was previously
282 reported (Gómez et al., 2009a; Molina et al., 1999; Sadek et al., 2006). Kashiwamura
283 et al. (2001) also showed that width of chest and metacarpus circumference were
284 greater in stallions. The coefficient of variation of MM has risen, which does not rule
285 out the possible creation of morphological subgroups according to functionality within
286 the PRE breed standard in the relatively near future.

287 *Relationship between morphology and functionality in the current Pura Raza Español*

288 The conformation of the modern horse has arisen as a result of both natural and
289 human-led selection for various purposes. Many studs select the horses by functional
290 criteria and encourage the breeding of horses with the most suitable body types, at
291 least empirically, for those particular functions. Therefore, in recent years, apart from
292 its beauty, the breeding goal of PRE is the improvement of functionality in dressage
293 and of gait quality, which is of great interest in dressage performance (Sánchez et al.,
294 2014a). Perhaps, because of this functional selection and the steady increase in
295 morphological PRE variability, there were significant mean differences between
296 dressage and non-dressage activity horses in most of traits (Table 2). In this study,
297 the stallions and mares in the period C belonging to the dressage group were
298 significant higher (heights at withers and at chest; and at croup only in mares) and
299 longer (length of shoulder, length of body, length of croup, length of gaskin and length
300 of croup). The importance of the height at withers was pointed out because of its
301 relationship with temporal, linear and angular biokinematic variables at trot (Sánchez
302 et al., 2014a) in this breed, and also because Barrey et al. (2002) observed that tall
303 horses have a slower stride frequency and longer stride length, which leads to a
304 higher speed in comparison with small horses. It is also remarkable that typical
305 dressage horse breeds were taller and longer than others (Dutch Warmblood,
306 Hannoverian, Holsteiner, Irish Sport Horse, Oldenburg, Swedish Warmblood,
307 Trakehner were taller than American Quarter Horse, Appaloosa, Paint Horse
308 (Petlachová et al., 2012), Arabian Purebred (Cervantes et al., 2009), Lipizzaner
309 (Zechner et al., 2001), Marchador Mangalarga (Pinto et al., 2008), Menorquin
310 Purebred (Solé et al., 2013) and Thoubreed (Bakhtiari and Heshmat, 2009).

311 In the thoracic region, the width of chest, dorso-sternal diameter, bicostal diameter
312 and perimeter of thorax were also greater in the dressage group. These traits usually

313 present moderate genetic correlations with biokinematic variables at trot in the same
314 breed (Sánchez et al., 2014a). The forelimb perimeters (knee and cane bone) were
315 also wider in the dressage group. The importance of the limbs is revealed by the
316 Latin expression "nullus pes nullus equus" (literally "no foot no horse"), i.e. without
317 good feet, the horse is no good. When determining whether a horse is well-balanced,
318 it is important to examine certain ratios and angles of the body. In this study, the
319 mares had a wider shoulder angle, which is one of the most crucial aspects to
320 consider because the angle of shoulder directly influences the horse's stride length
321 (Holmström et al., 1990; Morales et al., 1998). Besides, as was discussed above and
322 comparing gender according to its functionality, the MM showed higher values in
323 stallions than in mares in 23 MM (Table 2). Gómez et al. (2009a, 2009b) showed
324 similar values for height at chest in stallions and mares, while in the current PRE
325 population, it was significant higher in stallions than in mares. Kashiwamura et al.
326 (2001) in draft racehorses and (Rastija et al., 2004) in Lipizzaner noted that mares
327 possessed a wider (similar to current PRE population) and longer croup than
328 stallions; however, in PRE there were no significant differences in the length of croup
329 in the dressage group. In the light of these results, it is out of the question to think
330 that the studs which breed horses preselected to participate in dressage competitions
331 screen their morphological characteristics to differentiate them from other studs.
332 As it is shown in Figure 2, the root one separated the horses by gender. Thus,
333 discriminate analysis also quantifies a comprehensive assessment of sexual
334 dimorphism using MM. The root two identified a more subtle pattern of variation in
335 functional body shape. Nevertheless, it has a clear biological interpretation, because
336 it quantifies variation across the horses' range of functionality. Over the last 10 years
337 ago, MM in dressage horses have differed from non-performing horses. These

338 differences could be related to the horse predispositions for dressage ability.
339 However, this suggestion must be supported by further studies based on the
340 relationship between conformation traits and the athletic scores of horses from
341 different levels of sport. In this sense, therefore, the MM selected by the breeders
342 because of their relationship with dressage performance seem consistent with
343 previous studies. This study shows that the equine market has specific morphological
344 demands for PRE horses selected to dressage. So, the inclusion of those traits in the
345 PRE breeding program can be considered because of their economic importance
346 related with their relationship with performance. However the selection based on
347 these traits could have began some GI ago, because our results indicated that
348 dressage studs could have carried out mass selection during the last GI. In traits with
349 significant differences between dressage and non-dressage selected animals, as
350 height at withers or length of croup, the predicted breeding values (PBV) means were
351 different depending on the sport activity of the horses (higher in dressage horses).
352 While the PBV for these MM not significant differences by performance group shown
353 similar evolution (Figure 3). The mass selection method suggests the steady
354 differentiation between dressage and non-dressage horses. However, to obtain an
355 appropriate response, the traits should have suitable heritabilities and not be
356 negatively correlated among other selection criteria. The range of heritabilities
357 estimated (Table 3) for the selected traits (0.31-0.80) are consistent with those
358 reported by other authors for PRE horses (Gómez et al., 2009a, 2009b; Molina et al.,
359 1999) and for other horse populations as Lippizan (Zechner et al., 2001), Lusitano
360 (Vicente et al., 2014) and Noriker draught (Druml et al., 2008). They have suitable
361 values to obtain a noteworthy response to the selection. There were high genetic
362 correlations among the selected MM (57.50% were >0.50). In fact, height at withers

363 had a genetic correlation higher than 0.45 with 13 of the 16 selected MM, similar to
364 Gómez et al. (2009a, 2009b) and Druml et al. (2008) that also found high genetic
365 correlations between height at withers and other MM. In conclusion, our analyses
366 showed that the conformation characteristics for PRE have evolved over time, while
367 the existing sexual dimorphism has kept roughly constant over the last three GI. It
368 could be due to a mass selection carried out by studs out of the official breeding
369 program, that to continue, it can be concluded in a more functional PRE
370 subpopulation different from the rest. In the current population, dressage horses differ
371 from non-dressage horses in morphological measurements (were significant higher
372 and longer) and show a clear differentiation in the canonical discriminant analysis as
373 in the study of the evolution of PBV measures more related to dressage in both
374 subpopulations. These MM differences could be related to a morphology predisposed
375 to dressage ability. All the MM selected for dressage are highly correlated among
376 them (except angle of shoulder) and its genetic parameters indicate that they are
377 feasible to be included into the official breeding program of this breed for an indirect
378 selection of the animals.

379

380 **Acknowledgements**

381 The authors wish to thank the National Association of Pura Raza Español Horse
382 Breeders (ANCCE) for providing the data used in this study.

383

384 **References**

385 Bakhtiari, J., Heshmat, G., 2009. Estimation of genetic parameters of conformation traits in
386 Iranian Thoroughbred horses. *Livest. Sci.* 123, 116–120.
387 doi:10.1016/j.livsci.2008.10.014

- 388 Barrey, E., Desliens, F., Poirel, D., Biau, S., Lemaire, S., Rivero, J.L., Langlois, B., 2002.
389 Early evaluation of dressage ability in different breeds. *Equine Vet. J. Suppl.* 319–324.
- 390 Benjamini, Y., Hochberg, Y., 1995. Controlling the False Discovery Rate: A Practical and
391 Powerful Approach to Multiple Testing. *J. R. Stat. Soc. Ser. B (Methodological)*, 57,
392 289–300.
- 393 Boujenane, I., Touati, I., Machmoum, M., 2008. Mensurations corporelles des chevaux
394 Arabe-Barbes au Maroc. *Rev. Med. Vet. (Toulouse)*. 159, 144–149.
- 395 Brooks, S.A., Makvandi-Nejad, S., Chu, E., Allen, J.J., Streeter, C., Gu, E., McCleery, B.,
396 Murphy, B.A., Bellone, R., Sutter, N.B., 2010. Morphological variation in the horse:
397 defining complex traits of body size and shape. *Anim. Genet.* 41 Suppl 2, 159–65.
398 doi:10.1111/j.1365-2052.2010.02127.x
- 399 Cervantes, I., Baumung, R., Molina, A., Druml, T., Gutiérrez, J.P., Sölkner, J., Valera, M.,
400 2009. Size and shape analysis of morphofunctional traits in the Spanish Arab horse.
401 *Livest. Sci.* 125, 43–49. doi:10.1016/j.livsci.2009.03.006
- 402 Dario, C., Carnicella, D., Dario, M., Bufano, G., 2006. Morphological evolution and
403 heritability estimates for some biometric traits in the Murghese horse breed. *Genet. Mol.*
404 *Res.* 5, 309–314.
- 405 Druml, T., Baumung, R., Sölkner, J., 2008. Morphological analysis and effect of selection for
406 conformation in the Noriker draught horse population. *Livest. Sci.* 115, 118–128.
407 doi:10.1016/j.livsci.2007.06.015
- 408 Gómez, M.D., Azor, P.J., Alonso, M.E., Jordana, J., Valera, M., 2012. Morphological and
409 genetic characterization of Spanish heavy horse breeds: Implications for their
410 conservation. *Livest. Sci.* 144, 57–66. doi:10.1016/j.livsci.2011.10.013
- 411 Gómez, M.D., Goyache, F., Molina, A., Valera, M., 2009a. Sire × stud interaction for body
412 measurement traits in Spanish Purebred horses. *J. Anim. Sci.* 87, 2502–2509.
413 doi:10.2527/jas.2008-0841
- 414 Gómez, M.D., Valera, M., Molina, A., Gutiérrez, J.P., Goyache, F., 2009b. Assessment of
415 inbreeding depression for body measurements in Spanish Purebred (Andalusian) horses.
416 *Livest. Sci.* 122, 149–155. doi:10.1016/j.livsci.2008.08.007
- 417 Groeneveld, E., Kovac, M., Mielenz, N., 2010. VCE. Users's Guide and Reference Manual
418 Version 6.0.
- 419 Holmström, M., Magnusson, L.E., Philipsson, J., 1990. Variation in conformation of Swedish
420 warmblood horses and conformational characteristics of élite sport horses. *Equine Vet. J.*
421 22, 186–193.
- 422 Holmström, M., Philipsson, J., 1993. Relationships between conformation, performance and
423 health in 4-year-old swedish warmblood riding horses. *Livest. Prod. Sci.* 33, 293–312.
424 doi:10.1016/0301-6226(93)90009-7

- 425 Jakubec, V., Schlote, W., Jelinek, J., Scholz, A., Záliš, N., 1999. Linear type trait analysis in
426 the genetic resource of the Old Kladrub Horse. *Arch. für Tierzucht* 42, 215–224.
- 427 Kashiwamura, F., Avgaandorj, A., Furumura, K., 2001. Relationships among body size,
428 conformation, and racing performance in banai draft racehorses. *J. Equine Sci.* 12, 1–7.
- 429 Kelley, K., 2007. Confidence intervals for standardized effect sizes: Theory, application, and
430 implementation. *J. Stat. Softw.* 20, 1–24.
- 431 Komosa, M., Frackowiak, H., Purzyc, H., Wojnowska, M., Gramacki, A., Gramacki, J., 2013.
432 Differences in exterior conformation between primitive, Half-bred, and Thoroughbred
433 horses: anatomic-breeding approach. *J. Anim. Sci.* 91, 1660–8. doi:10.2527/jas.2012-
434 5367
- 435 Lovšin, E., Fazarinc, G., Pogačnik, A., Bavdek, S. V., 2001. Growth dynamics of Lipizzan
436 horses and their comparison to other horse breeds. *Pflügers Arch. Eur. J. Physiol.* 442,
437 211–212.
- 438 Mcmanus, C.M., Santos, S.A., Silva, J. a. Da, Ereno, J.R.B., Mariante, A.D.S., 2008. Body
439 indices for the pantaneiro horse. *Brazilian J. Vet. Res. Anim. Sci.* 45, 362–370.
- 440 Molina, A., Valera, M., Dos Santos, R., Rodero, A., 1999. Genetic parameters of
441 morphofunctional traits in Andalusian horse. *Livest. Prod. Sci.* 60, 295–303.
442 doi:10.1016/S0301-6226(99)00101-3
- 443 Morales, J.L., Manchado, M., Vivo, J., Galisteo, A.M., Agüera, E., Miró, F., 1998. Angular
444 kinematic patterns of limbs in elite and riding horses at trot. *Equine Vet. J.* 30, 528–533.
- 445 Petlachová, T., Sobotková, E., Jiskrová, I., Pišová, M., Bihuncová, I., Černohorská, H.,
446 Kostuková, M., 2012. Evaluation of the conformation of stallions of selected horse
447 breeds. *Acta Univ. Agric. Silvic. Mendelianae Brun.* 60, 375–382.
- 448 Pinto, L.F.B., Almeida, F.Q. de, Quirino, C.R., de Azevedo, P.C.N., Cabral, G.C., Santos,
449 E.M., Corassa, A., 2008. Evaluation of the sexual dimorphism in Mangalarga Marchador
450 horses using discriminant analysis. *Livest. Sci.* 119, 161–166.
451 doi:10.1016/j.livsci.2008.03.014
- 452 Purzyc, H., Kobryńczuk, F., Bojarski, J., 2011. Sexual dimorphism in Hucul horses using
453 discriminant analysis. *Animal* 5, 506–11. doi:10.1017/S1751731110002223
- 454 Rastija, T., Baban, M., Antunovic, Z., Mandić, I., 2004. A comparison and development of
455 morphometric characteristic of stallions and mares on the Lipizzaner stud of Đakovo.
456 *Acta Agric. Slov.* 1, 195–200.
- 457 Sadek, M.H., Al-Aboud, A.Z., Ashmawy, A.A., 2006. Factor analysis of body measurements
458 in Arabian horses. *J. Anim. Breed. Genet.* 123, 369–377. doi:10.1111/j.1439-
459 0388.2006.00618.x

- 460 Sánchez, M.J., Gómez, M., Peña, F., Monterde, J., Morales, J., Molina, A., Valera, M., 2014a.
461 Relationship between conformation traits and gait characteristics in Pura Raza Español
462 horses. *Arch. Tierzucht* 56, 137–148. doi:10.7482/0003-9438-56-013
- 463 Sánchez, M.J., Gómez, M.D., Molina, A., Valera, M., 2014b. Assessment Scores in
464 Morphological Competitions of Pura Raza Español Horse. *Int. J. Agric. Biol.*, 557–563.
- 465 Sánchez, M.J., Gómez, M.D., Molina, A., Valera, M., 2013. Genetic analyses for linear
466 conformation traits in Pura Raza Español horses. *Livest. Sci.* 157, 57–64.
467 doi:10.1016/j.livsci.2013.07.010
- 468 Solé, M., Santos, R., Gómez, M.D., Galisteo, A.M., Valera, M., 2013. Evaluation of
469 conformation against traits associated with dressage ability in unriden Iberian horses at
470 the trot. *Res. Vet. Sci.* 95, 660–666. doi:10.1016/j.rvsc.2013.06.017
- 471 StatSoft Inc., 2007. STATISTICA (data analysis software system).
- 472 Valera, M., Molina, a., Gutiérrez, J.P., Gómez, J., Goyache, F., 2005. Pedigree analysis in the
473 Andalusian horse: Population structure, genetic variability and influence of the
474 Carthusian strain. *Livest. Prod. Sci.* 95, 57–66. doi:10.1016/j.livprodsci.2004.12.004
- 475 Vicente, A.A., Carolino, N., Ralão-Duarte, J., Gama, L.T., 2014. Selection for morphology,
476 gaits and functional traits in Lusitano horses: II. Fixed effects, genetic trends and
477 selection in retrospect. *Livest. Sci.* 164, 13–25. doi:10.1016/j.livsci.2014.03.017
- 478 Zechner, P., Zohman, F., Sölkner, J., Bodo, I., Habe, F., Marti, E., Brem, G., 2001.
479 Morphological description of the Lipizzan horse population. *Livest. Prod. Sci.* 69, 163–
480 177. doi:10.1016/S0301-6226(00)00254-2
- 481

***Conflict of Interest Statement**

CONFLICTS OF INTEREST

I wish to confirm that there are no known conflicts of interest associated with this publication and there has been no significant financial support for this work that could have influenced its outcome.

I confirm that the manuscript has been read and approved by all named authors and that there are no other persons who satisfied the criteria for authorship but are not listed. We further confirm that the order of authors listed in the manuscript has been approved by all of us.

I confirm that we have given due consideration to the protection of intellectual property associated with this work and that there are no impediments to publication, including the timing of publication, with respect to intellectual property. In so doing we confirm that we have followed the regulations of our institutions concerning intellectual property.



Maria José Sánchez

Figure 1

[Click here to download Figure: Figure 1.docx](#)

- 1 **Figure 1.** Graphical representation of the morphological measurements taken in the
- 2 *Pura Raza Español* horse

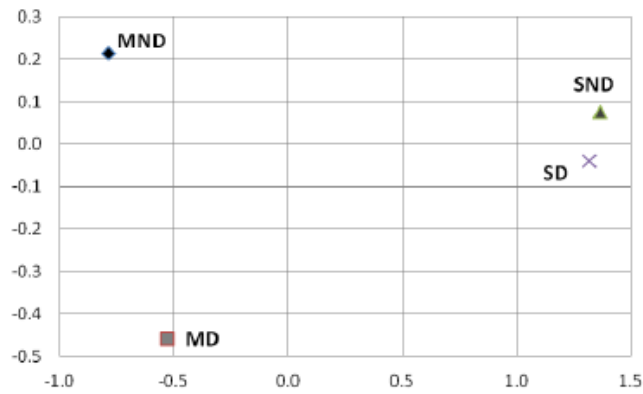


- 3
- 4 Height at withers (HW); Height at chest (HC); Height at croup (HCr); Length of head (LH); Width of
- 5 head (WH); Commissure of lips (CL); Length of neck (LN); Length of shoulder (LS); Width of chest
- 6 (WC); Length of forearm (LFA); Length of body (LB); Length of back (LBa); Length of loin (LL); Length
- 7 of croup (LCr); Width of croup (WCr); Length of femur (LF); Length of gaskin (LG); Depth of croup
- 8 (DCr); Length of buttock (LBU); Bicostral diameter (BD); Dorso-sternum diameter (DSD); Perimeter of
- 9 thorax (PT); Perimeter of knee (PK); Perimeter of cannon bone (PCB); Angle of shoulder (AS); Angle
- 10 of croup (ACr).

Figure 2

[Click here to download Figure: Figure 2.docx](#)

- 1 **Figure 2. Scatter plot of the mean canonical variables according to the subset of**
- 2 **significant morphological measurements * analyzed in the period C for the Pura Raza**
- 3 **Español breed subpopulation defined by gender and aptitude.**

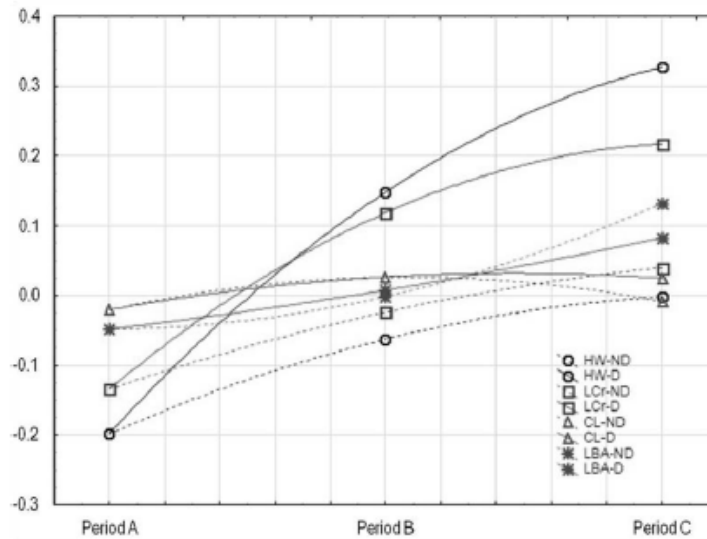


- 4
- 5 *Determined as most "responsible" for the differentiation among the performance types in Table 2
- 6 (height at withers; height at chest; height at croup; length of head; length of shoulder; width of chest;
- 7 length of body; length of croup; length of gaskin; depth of croup; bicostal diameter; dorso-sternum
- 8 diameter; perimeter of thorax; perimeter of knee; perimeter of cannon bone and angle of shoulder).
- 9 Where: MND= Mare/non-dressage activity; MD= Mare/Dressage; SND= Stallion/non-dressage activity;
- 10 SD= Stallion/Dressage.

Figure 3

[Click here to download Figure: Figure 3.docx](#)

- 1 **Figure 3.** Predicted breeding values evolution over the past three generation
- 2 intervals of two morphological measurements related (height at withers and length of
- 3 croup) and two not related (commissure of lips and length of back) to dressage
- 4 performance in Pura Raza Español horses.



- 5
- 6 Height at withers (HW); Length of croup (LCr); Commissure of lips (CL); Length of back (LBA);
- 7 D=dressage activity; ND= non-dressage activity.

Table 1

1 **Table 1.** *Effects of gender and period and its interaction in morphological*
 2 *measurements in stallions and mares of Pura Raza Español breed measured for*
 3 *the three last generational intervals (period A, B and C).*

Morphological Measurements ²	LSMeans ¹						RSD	p-values		
	Stallions			Mares				G	P	GxP
	period A	period B	period C	period A	period B	period C				
N	3572	13462	4047	4713	18960	7927				
HW	157.4 ^d	158.9 ^b	160.6 ^a	154.7 ^f	156.1 ^e	157.9 ^c	4.2	<0.001	<0.001	0.811
HC	84.3 ^c	85.4 ^b	86.2 ^a	81.6 ^f	82.5 ^e	83.3 ^d	3.9	<0.001	<0.001	0.010
WC	43.9 ^b	44.2 ^a	43.5 ^c	42.4 ^e	42.8 ^d	41.9 ^f	3.2	<0.001	<0.001	0.137
LB	158.0 ^e	158.7 ^c	159.7 ^a	157.6 ^f	158.5 ^d	159.3 ^b	5.2	<0.001	<0.001	0.129
DSD	72.0 ^d	73.3 ^c	73.8 ^a	72.2 ^d	73.6 ^b	73.9 ^a	3.7	<0.001	<0.001	0.009
PT	187.6 ^e	189.3 ^d	188.0 ^e	190.0 ^c	192.1 ^a	190.9 ^b	8.9	<0.001	<0.001	0.083
PK	33.1 ^c	33.4 ^b	33.7 ^a	31.0 ^f	31.1 ^e	31.2 ^d	1.5	<0.001	<0.001	<0.001
PCB	21.7 ^b	20.7 ^a	20.7 ^a	19.6 ^e	19.7 ^d	20.2 ^c	1.2	<0.001	<0.001	<0.001

4 ¹Any standard errors are higher than 0.61. Mean measurements are expressed in cm.

5 ²Height at withers (HW); Height at chest (HC); Width of chest (WC); Length of body (LB);

6 Dorso-stemum diameter (DSD); Perimeter of thorax (PT); Perimeter of knee (PK); Perimeter
 7 of cannon bone (PCB).

8 RSD= Relative standard deviation; N= Number of horses; G= Gender; P= Period; GxP= The
 9 interaction Gender x Period.

10 ^{a,b,c,d,e,f} Values within a row with different superscripts differ significantly at P<0.05.

11

Table 2

- 1 **Table 2. Effects of gender and performance group in morphological measurements in**
 2 *stallions and mares from the current population (period C) of Pura Raza Español breed,*
 3 *according their performance*

Morphological Measurements ²	LSMeans ¹				RSD	Significance		
	Stallions		Mares			G	PG	GxPG
	ND	D	ND	D				
N	2840	1207	5640	2287				
HW	160.2 ^b	161.5 ^a	157.3 ^d	159.2 ^c	4.5	0.003	0.003	0.005
HC	86.0 ^b	86.8 ^a	83.0 ^d	84.1 ^c	4.2	0.003	0.003	0.139
HCr	160.3 ^a	160.4 ^a	157.7 ^c	159.0 ^b	4.5	0.003	0.003	0.056
LH	62.7 ^{ab}	63.2 ^a	62.1 ^b	62.7 ^{ab}	4.0	0.003	0.003	0.958
WH	23.8 ^a	23.7 ^a	23.4 ^b	23.2 ^b	1.7	0.003	0.779	0.868
CL	8.9 ^a	8.8 ^a	8.8 ^a	8.9 ^a	1.1	0.659	0.727	0.319
LN	75.1 ^a	75.6 ^a	73.1 ^b	73.5 ^b	6.1	0.003	0.051	0.202
LS	66.6 ^b	66.9 ^a	65.4 ^c	65.9 ^b	3.5	0.003	0.003	0.641
WC	43.2 ^b	43.9 ^a	41.3 ^d	42.1 ^c	3.4	0.003	0.003	0.819
LFA	47.5 ^a	47.7 ^a	46.5 ^b	46.6 ^b	4.1	0.003	0.489	0.681
LB	160.9 ^b	161.2 ^a	159.9 ^c	161.5 ^a	5.5	0.412	0.003	0.003
LBa	32.7 ^a	33.2 ^a	33.1 ^a	32.8 ^a	4.6	0.982	0.737	0.126
LL	28.5 ^a	28.5 ^a	29.0 ^a	29.1 ^a	4.5	0.032	0.582	0.824
LCr	53.3 ^b	54.1 ^a	52.8 ^c	53.7 ^{ab}	3.2	0.008	0.003	0.781
WCr	52.9 ^b	52.6 ^b	54.0 ^a	54.6 ^a	3.5	0.003	0.763	0.054
LF	48.2 ^a	48.8 ^a	48.6 ^a	49.3 ^a	5.8	0.066	0.680	0.607
LG	51.8 ^{ab}	51.9 ^a	50.6 ^c	51.2 ^b	3.5	0.003	0.003	0.105
DCr	53.2 ^b	54.5 ^a	51.8 ^c	52.6 ^b	5.2	0.003	0.003	0.494
LBU	45.4 ^a	44.7 ^a	45.0 ^a	45.5 ^a	5.3	0.534	0.647	0.186
BD	42.1 ^a	42.3 ^a	40.7 ^b	42.2 ^a	6.4	0.086	0.045	0.107
DSD	73.8 ^b	73.9 ^a	73.0 ^b	74.0 ^b	4.2	0.125	0.003	0.145
PT	187.6 ^c	187.8 ^b	188.3 ^b	190.2 ^a	9.3	0.003	0.003	0.039
PK	33.6 ^b	33.7 ^a	31.2 ^d	31.9 ^c	1.7	0.003	0.003	0.028
PCB	20.6 ^b	20.8 ^a	19.9 ^d	20.3 ^c	1.3	0.003	0.003	0.658
AS	52.3 ^{bc}	53.5 ^{ab}	52.6 ^c	54.3 ^a	9.1	0.697	0.003	0.568
Acr	24.1 ^{ab}	23.5 ^b	26.2 ^a	23.6 ^{ab}	8.8	0.150	0.094	0.137

4 ¹Any standard errors are higher than 0.98. Mean measurements are expressed in cm.

5 ²Height at withers (HW); Height at chest (HC); Height at croup (HCr); Length of head (LH);

6 Width of head (WH); Commissure of lips (CL); Length of neck (LN); Length of shoulder (LS);

7 Width of chest (WC); Length of forearm (LFA); Length of body (LB); Length of back (LBa);

8 Length of loin (LL); Length of croup (LCr); Width of croup (WCr); Length of femur (LF); Length

9 of gaskin (LG); Depth of croup (DCr); Length of buttock (LBU); Bicostal diameter (BD); Dorsos-

10 sternum diameter (DSD); Perimeter of thorax (PT); Perimeter of knee (PK); Perimeter of

11 cannon bone (PCB); Angle of shoulder (AS); Angle of croup (ACr).

12 RSD= Relative standard deviation; N= Number of horses; D= Dressage; ND= Non-dressage

13 activities; G= Gender; PG= Performance group; GxPG= The interaction Gender x

14 Performance group.

15 ^{a,b,c}Values within a row with different superscripts differ significantly at P<0.05.

Table 3

1 **Table 3.** Genetic correlations (above the diagonal), heritabilities (on the diagonal),
 2 phenotypic correlations (below the diagonal) and its standard error (below of each genetic
 3 value) among the subset of significant morphological measurements analyzed in the period
 4 C.

	HW	HC	HCr	LH	LS	WC	LB	LCr	LG	DCr	BD	DSD	PT	PK	PCB	AS
HW	0.80	0.96	0.97	0.61	0.67	0.46	0.84	0.56	0.48	0.62	0.21	0.78	0.65	0.68	0.57	0.04
	0.032	0.003	0.004	0.028	0.025	0.030	0.014	0.026	0.031	0.030	0.036	0.027	0.024	0.024	0.034	0.038
HC	0.90	0.72	0.97	0.58	0.63	0.42	0.81	0.50	0.45	0.61	0.19	0.73	0.62	0.65	0.58	-0.01
	0.003	0.029	0.005	0.029	0.026	0.021	0.015	0.030	0.028	0.030	0.040	0.025	0.024	0.021	0.023	0.024
HCr	0.90	0.87	0.74	0.60	0.68	0.51	0.86	0.58	0.48	0.67	0.22	0.76	0.65	0.66	0.57	-0.03
	0.003	0.003	0.032	0.030	0.024	0.022	0.012	0.030	0.033	0.030	0.033	0.025	0.022	0.034	0.025	0.025
LH	0.36	0.33	0.36	0.41	0.43	0.43	0.55	0.40	0.20	0.45	0.34	0.62	0.48	0.63	0.52	0.13
	0.007	0.007	0.007	0.033	0.031	0.039	0.031	0.038	0.044	0.042	0.032	0.040	0.037	0.038	0.045	0.054
LS	0.50	0.42	0.47	0.24	0.55	0.58	0.63	0.61	0.46	0.52	0.36	0.78	0.61	0.46	0.40	0.17
	0.006	0.007	0.007	0.008	0.030	0.038	0.026	0.031	0.037	0.035	0.039	0.032	0.026	0.038	0.043	0.034
WC	0.27	0.25	0.28	0.19	0.18	0.53	0.68	0.62	0.45	0.65	0.22	0.72	0.67	0.66	0.57	-0.01
	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.017	0.027	0.027	0.043	0.045	0.028	0.034	0.024	0.032	0.043	0.022
LB	0.65	0.58	0.65	0.32	0.43	0.27	0.39	0.62	0.45	0.65	0.22	0.72	0.67	0.66	0.57	-0.01
	0.005	0.006	0.005	0.008	0.007	0.008	0.007	0.024	0.031	0.036	0.040	0.030	0.022	0.025	0.035	0.026
LCr	0.33	0.31	0.34	0.11	0.31	0.38	0.35	0.53	0.59	0.76	0.23	0.58	0.60	0.52	0.42	0.14
	0.007	0.008	0.007	0.009	0.008	0.007	0.007	0.033	0.031	0.032	0.045	0.040	0.021	0.033	0.039	0.055
LG	0.27	0.24	0.26	0.00	0.27	-0.04	0.28	0.38	0.50	0.62	-0.27	0.49	0.62	0.26	0.13	-0.23
	0.008	0.008	0.008	0.009	0.008	0.009	0.008	0.007	0.032	0.024	0.031	0.032	0.025	0.022	0.025	0.029
DCr	0.39	0.36	0.39	0.15	0.24	0.24	0.37	0.41	0.38	0.45	0.20	0.58	0.57	0.62	0.44	0.04
	0.007	0.008	0.007	0.008	0.008	0.008	0.007	0.007	0.007	0.031	0.055	0.043	0.037	0.043	0.051	0.042
BD	0.05	0.08	0.09	0.24	0.05	0.36	0.08	0.04	-0.46	0.00	0.45	0.27	0.53	0.27	0.25	0.34
	0.009	0.009	0.009	0.008	0.009	0.007	0.009	0.009	0.011	0.009	0.034	0.021	0.029	0.025	0.030	0.037
DSD	0.44	0.37	0.41	0.21	0.41	0.26	0.39	0.28	0.17	0.22	0.04	0.38	0.67	0.56	0.52	0.03
	0.008	0.007	0.007	0.008	0.007	0.008	0.009	0.008	0.008	0.008	0.009	0.031	0.029	0.037	0.042	0.053
PT	0.41	0.37	0.42	0.18	0.31	0.42	0.46	0.39	0.11	0.32	0.34	0.38	0.67	0.67	0.64	0.07
	0.008	0.007	0.007	0.008	0.008	0.007	0.007	0.007	0.009	0.008	0.007	0.007	0.033	0.026	0.033	0.020
PK	0.55	0.51	0.51	0.26	0.23	0.32	0.41	0.28	0.11	0.40	0.10	0.19	0.29	0.50	0.85	0.08
	0.006	0.006	0.006	0.008	0.008	0.008	0.007	0.008	0.009	0.007	0.009	0.008	0.008	0.030	0.021	0.029
PCB	0.44	0.42	0.41	0.23	0.23	0.30	0.33	0.24	0.05	0.26	0.13	0.20	0.28	0.59	0.44	0.08
	0.007	0.007	0.007	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.009	0.008	0.009	0.008	0.008	0.006	0.031	0.025
AS	-0.04	-0.02	-0.04	0.01	0.01	-0.02	0.02	0.02	-0.14	-0.06	0.20	-0.05	0.01	0.02	0.05	0.31
	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.010	0.009	0.008	0.009	0.009	0.009	0.009	0.033

5 Height at withers (HW); Height at chest (HC); Height at croup (HCr); Length of head (LH); Length of
 6 shoulder (LS); Width of chest (WC); Length of body (LB); Length of croup (LCr); Length of gaskin
 7 (LG); Depth of croup (DCr); Bicoastal diameter (BD); Dorso-stemum diameter (DSD); Perimeter of
 8 thorax (PT); Perimeter of knee (PK); Perimeter of cannon bone (PCB); Angle of shoulder (AS).

3.1.2 ARTÍCULO 2 (CAPÍTULO I). ASSESSMENT SCORES IN MORPHOLOGICAL COMPETITIONS OF PURA RAZA ESPAÑOL HORSE

Título: Resultados de evaluación en competiciones morfológicas del caballo de Pura Raza Español

Autores: Sánchez M.J.¹, Gómez M.D.¹, Molina A.³, Valera M.¹.

Afiliación:

¹ Departamento de Ciencias Agro-Forestales, Universidad de Sevilla, Ctra. Utrera km 1, 41013-Sevilla, España.

² Departamento de Genética, Universidad de Córdoba, Ctra. Madrid-Cádiz Km.396^a, 14071-Córdoba, España.

Revista: **International Journal of Agriculture and Biology**, 16(3), 557-563.

Índice de Impacto 0,902 (Journal Citation Report, 2013).

Área y cuartil: "Agriculture, multidisciplinary" 2º cuartil (21/56)

INTERNATIONAL JOURNAL OF AGRICULTURE & BIOLOGY
 ISSN Print: 1560-8530; ISSN Online: 1814-9596
 13-450/2014/16-3-557-563
<http://www.fsublishers.org>



Full Length Article

Assessment Scores in Morphological Competitions of *Pura Raza Español* Horse

Sánchez María José^{1*}, Gómez María Dolores¹, Molina Antonio² and Valera Mercedes¹

¹Department of Agroforestry Sciences, University of Seville, Ctra, Utrera km 1, 41013 Seville, Spain

²Department of Genetics, University of Cordoba, C.U. Rabanales, Ctra, Madrid-Cadiz, km 396a, 14071 Cordoba, Spain

*For correspondence: v32sagum@gmail.com

Abstract

The aim of this work was to establish the external factors affecting morphological scores in competitions of *Pura Raza Español* (PRE – Spanish Purebred) horses. The dataset included 8633 participations, in 69 different morphological competitions of 5097 horses, belonging to 1113 studs. In total, the dataset had 21,760 records (each with eight partial morphological scores) with a balanced frequency of males and females. Our results showed that there are several external factors that influence the judges' scores. Morphological competition (15.70% of the total variance), judge (9.65%), judge*morphological competition (7.45%) and judge*type (2.41%) were the most important external factors in the analyzed traits. The reliability of judgements was evaluated by the index of disagreement, and results showed that it might be necessary to train judges to get more agreement in these scores. Moreover, for a breeding program it is very important that judges use all the range of scores in order to collect the maximum level of variation. The analyses showed that competitions with three judges were the most appropriate. © 2014 Friends Science Publishers

Keywords: Andalusian horse; Morphological evaluation; Index of disagreement; Judge; Spanish Purebred

Introduction

In horse breeding conformation, as beauty, appropriate body proportions and breed standard, still has great importance in many breeds. Moreover, relative economic values of selection criteria, indicate that conformation is still the most important thing (Brums *et al.*, 1978; Schwark *et al.*, 1988) to achieve high prices for horses (Preisinger *et al.*, 1991). In fact studs use morphological scores obtained in morphological competitions to select horses for future breeding.

A linear scoring system was first introduced in dairy cattle, although a linear assessment of conformation traits was applied to most livestock species. The linear system has been developed in horses to collect suitable data for genetic evaluation of conformation traits mainly to improve functionality, but unable to assess the beauty and breed standard of the animals. The morphology assessment by classical methods is carried out in a subjective way based on the experience of the judge, which explains most of the phenotypic variance through the morphological scores obtained by the animals (Holmström *et al.*, 1990). Since objectively measuring beauty and breed standards of animals seems impossible, morphology assessment remains the only valid model.

The *Pura Raza Español* (PRE – Spanish Pure Breed) horse is a breed with ancestors dating back thousands of

years in the Iberian Peninsula. They have been recognized as an individual breed since the 15th century, are strongly built, yet extremely elegant horses. The PRE horse is held for its beauty and fine temperament and therefore, its selection has always been based on these qualities (Muñoz *et al.*, 1997). Their morphological evaluation, from a phenotypic point of view (beauty according to the breed standard), up to now, has been made by means of specific morphological competitions. The scores recorded in the PRE morphological competitions are an important source of information to improve the morphological assessment of this breed because they remain an important reference for the studs. For example, in 2012, international morphological final championship of PRE (called SICAB) had a total turnover of 30 millions Euros (ANCCE, 2012). Only PRE horses registered in the official stud-book can participate in these competitions, where horses are grouped in different sections by their sex and age. The animals are scored numerically on a "desirability point" scale as a distance from the "ideal" using a score ranged from 1 to 10 points: It is a subjective judging defined as judging through the use of an individual feeling as the ultimate criterion for what is deemed good and correct (Magnusson and Thafvelin, 1985).

Collective scores for each region are designed to summarize the characteristics of each anatomical area of the animal, which must reflect the qualities of the entire performance and the relation with the breed standard. The

To cite this paper: Sánchez, M.J., M.D. Gómez, A. Molina and M. Valera, 2014. Assessment scores in morphological competitions of *Pura Raza Español* horse. *Int. J. Agric. Biol.*, 16: 557-563

Jose et al. / *Int. J. Agric. Biol.*, Vol. 16, No. 3, 2014

final classification is decided according to the average score awarded by all of the judges. But, even in this case, the judging is sometimes controversial because morphological beauty is difficult to assess, since it cannot be objectively measured. So, many times, the score given by a judge, is far from the average of all participating judges.

In fact judging needs to be transparent, since all cases of protective or unjust scores may meet with protest and result in the wrong breeding; furthermore, trends in judging behaviour can shape the future of breed selection. Nowadays the reliability of morphological scores is not taken into account and scores are not verified. Therefore, this system, based on breed standard and beauty, needs to be improved since it is a criterion actually used by studs to choose breeding animals. And therefore, because of the high influence the judge has on the scores, the reliability of judging has to be assessed.

The aim of this work is to establish the external factors affecting morphological scores in PRE competitions to contribute to a better design of the assessment methodologies for this breed.

Material and Methods

Dataset

Data for the analysis were collected from 69 different competitions held between 2006 and 2010. It included 5097 different horses, belonging to 1113 studs. A dataset with 21,760 records (each one have 8 morphological partial scores described in Table 1), corresponding to 8633 participations. The dataset had a balanced frequency of males and females (49.7% of records– 49.2% of horses– from males) with an average of 4.3 available records per horse. The number of judges that participated in a competition varied with the level of the competition, with the highest number of judges present for competitions with a large number of horses. The lower level of morphological competition (with 1 judge), called type A, had a total of 838 records from 8 different morphological competitions. Next level, type B (2 judges), had 3766 records from 18 morphological-competitions. And the last two levels were competitions with 3 or 5 judges and the highest number of horses 16,561 and 595 including all the final-championships, called type C and D, respectively were collected from 43 different competitions.

Assessment records included 8 morphological traits, related with anatomical regions; head and neck, shoulders and withers, chest and thorax, back and loin, croup and tail, forelimbs, hindlimbs and overall form. Abbreviations and broad definitions of the analysed traits are given in Table 1.

The assessed traits were scored numerically on a desirability scale from 1 (not at all similar to the conformation characteristic of breed standard) to 10 points (completely identical to the conformation completely identical to the most perfect morphology). All 8 traits were

evaluated by each judge. And the final score of the animal in the competition corresponded with the average of the scores of the different judges, which defined the ranking. Each judge appraises horses independently to avoid influences on the scores.

Statistical Analysis

Basic statistics were estimated for all the analyzed traits grouped by the level of competition, according to the type of competition (number of participant judges: A, B, C and D) and total data (0). The 95% reference intervals were calculated by removing the upper and lower 2.5% of the range for each morphological parameter (2.5 and 97.5 percentiles) and then the confidence limits of these reference values were estimated.

To analyze the possible influence of various factors on the classification of different regions, a MANOVA was fitted including the following fixed effects: section (16 levels, where the animals were grouped by their sex and age as shown in Table 2), judge (43 levels); stud (grouped in 49 classes by the number of animals that have morphological controlled, since it was assumed that the studs with more animals carry a similar handling of horses); coat (7 levels: chestnut, buckskin, white, bay, black, roan and grey); competition (69 levels) and type of competition (4 levels according to the maximum number of judges in the competitions: with 1, 2, 3 and 5 judges); and the combination between: judge × section (431), judge × breeder-stud (1486), judge × coat (113), judge × competition (267) and judge × type (162). All these factors were included in the model, because they can produce errors of perception, categorization and memory process, because of the previous experiences of the judges (Plessner and Haar, 2006). Additionally, the percentage of variance of the different factors for each trait was also calculated. Finally, the Principal Components Analysis (PCA) was estimated to analyze the relationship between the different traits and types of competitions.

The statistical analyses were carried out using the program SAS package v. 6.11 (SAS, 2001).

Index of Disagreement

To evaluate the agreement between the evaluations of the different judges in the PRE competitions, we estimated the Index of Disagreement (ID) as described by Stachurska and Bartyzel (2011). The freely available program takes into account the ranking of the animals by each final score. These authors consider that when judges agree this would result in all the horses having the same similar ranking order thus making the similarities between scores less important. The ID is an estimation of the judging quality, which showed, in percentage, how much a judge ranked the horses differently from the total ranking in a trait based on the sum of the scores given by the other judges that participate in the same competition. In this sense, the

Assessment Scores in Morphological Competitions of PRE / *Int. J. Agric. Biol.*, Vol. 16, No. 3, 2014**Table 1:** Abbreviations and descriptions of the eight morphological traits analyzed in the PRE morphological competitions

Abbreviations	Variables	Descriptions
HN	Head-neck	Evaluation of head and neck region
SW	Shoulder-withers	Evaluation of shoulder and withers region
CT	Chest-thorax	Evaluation of chest and thorax region
BL	Back-loin	Evaluation of back and loin region
CrT	Croup and tail	Evaluation of croup and tail region
FL	Forelimb	Evaluation of forelimb region
HL	Hindlimb	Evaluation of hindlimb region
OF	Overall form	Evaluation of overall form

Table 2: Description of the age and the sex of the different sections established in PRE morphological competitions

Section	Age (years)	Sex
1	1	Female
2	1	Male
3	2	Female
4	2	Male
5	3	Female
6	3	Male
7A	4	Female
7C	5	Female
8A	4	Male
8C	5	Male
9A	6	Female
9C	7	Female
10A	6	Male
10C	7	Male
11	8 or more	Female
12	8 or more	Male

lower ID, the more consistent a judge was with the total ranking of the animal in a given event. As Stachurska and Bartyzel (2011) recommended, the particular traits were considered in this analysis, instead of the total final ranking, because the consistency of the final ranking of the animal in the competition could sometimes be coincidental. The ID was modified to obtain a more clearly estimation of the difference between each judge and the other members of the jury, since scores awarded by an evaluated judge were not included from the ranking that was being compared Stachurska and Bartyzel (2011). This parameter is evaluated as a percentage of the disagreement of ranking in a single score by a particular judge relative to the general ranking based on the scores of the other judges excluding the evaluated judge. The ID was calculated 3 times separately, for the different morphological type of competition with more than 1 judge evaluating (2, 3 and 5 judges). Therefore, the records belonging to the competitions with only one judge were excluded in this analysis giving a total of 20,922 records, from a total of 7288 participations, held in 61 different competitions. These data belong to 4524 animals from 1042 studs.

Results

Descriptive statistics of the eight analysed traits are given in

Table 3. In the PRE competitions, the average values (regardless of the type of competition) ranged between 6.9 scores (forelimb and hindlimb) and 7.9 scores (shoulder-withers and chest-thorax). In all the traits, except for the croup and tail, the competitions with 1 judge had the highest coefficients of variation (CV). The competitions with 2 judges (B) had the lowest score (3.5) and never achieved the maximum (10.0). And finally, the competitions with 5 judges (D) had the lowest range of the scale with 3 traits having only 2.5 points of variation: chest-thorax, forelimb and hind limb.

The relationships between the eight analyzed traits and the four type of competition are shown as a graphical representation of a principal components analysis in figure 1. Factor 2 absorbed 26.3% of total variance and separates the fore-region of the animal, the back-loin and morphological type of competition B and D of the rest of traits and type of competition. Whereas, factor 1 absorbed 30.9% of total variance and included type of competition B.

The influence of several external factors and their combinations on the scores given in the competitions for PRE horses were analyzed by a MANOVA and summarized in Table 4. Competition (15.7% of the total variance), judge (9.7%), judge*competition (7.5%) and judge*type of competition (2.4%) had the highest values for the percentage of variance as explained by the MANOVA analysis.

Finally, the average ID of each PRE type of competition is shown in Table 5. Competitions with 2, 3 and 5 judges had an average ID of 36.18%, 14.52% and 22.30%, respectively. Competitions with 3 judges (C) had the highest use of the scale (range of points) and the lowest ID.

Discussion

In general, it is difficult to compare evaluations of conformation traits derived from several breeds and scoring systems, due to serious differences in breeding goals and the way of scoring (Druml *et al.*, 2008). According to the criteria of the judges, the fore and hind limbs in PRE horses are the regions with less breed-quality, whereas shoulder-withers and chest-thorax are those areas with more quality related to the breed standard.

In general, this breed could be defined as a homogeneous population because of the low CV (lower than 10.00% for all analyzed traits); the highest values were shown for the hindlimb (9.44%) and the back-loin region (8.71%). As expected, the overall form was a homogeneous score, which is a global score for the whole animal. The CV were similar to those reported by Dobek *et al.* (2012) for the conformation traits in Polish Warmblood stallions; but higher than those reported by Molina *et al.* (1999) that ranged from 2.3 to 5.1 in the same breed, and slightly lower than those shown by Dietl *et al.* (2005) in Warmblood Horses.

Jose et al. / Int. J. Agric. Biol., Vol. 16, No. 3, 2014

Table 3: Descriptive statistics for the eight traits analyzed in PRE morphological competitions and grouped by the type of competitions

Trait	Type	Mean± se	Range	Reference limits*	95% CI for lower reference limit	95% CI for upper reference limit	CV%
HN	0	7.64±0.004	4.0-10.0	6.5-9.0	5.3-7.7	7.8-10.0	8.04
	A	7.50±0.020	5.0-10.0	6.0-9.0	4.6-7.4	7.6-10.0	9.63
	B	7.63±0.011	4.5-9.5	6.0-9.0	4.7-7.3	7.7-10.0	8.71
	C	7.64±0.005	4.0-9.5	6.5-9.0	5.3-7.7	7.8-10.0	7.70
SW	0	8.02±0.025	6.0-9.5	7.0-9.5	5.8-8.2	8.3-10.0	7.71
	A	7.93±0.004	4.9-10.0	6.5-9.0	5.3-7.7	7.8-10.0	7.45
	B	7.69±0.020	4.9-9.5	6.0-9.0	4.6-7.4	7.6-10.0	9.30
	C	7.95±0.010	5.0-9.5	6.7-9.0	5.6-7.8	7.9-10.0	7.09
CT	0	7.94±0.005	5.0-10.0	7.0-9.0	5.9-8.1	7.9-10.0	7.28
	A	8.30±0.023	6.5-9.5	7.0-9.3	5.9-8.1	8.2-10.0	6.74
	B	7.92±0.003	4.9-10.0	7.0-9.0	6.0-8.0	8.0-10.0	6.38
	C	7.89±0.017	5.5-10.0	6.5-9.0	5.3-7.7	7.8-10.0	7.72
BL	0	7.89±0.009	5.0-9.5	7.0-9.0	6.0-8.0	8.0-10.0	6.42
	A	7.92±0.004	4.9-9.5	7.0-9.0	6.0-8.0	8.0-10.0	6.20
	B	8.29±0.021	7.0-9.5	7.5-9.0	6.5-8.5	8.0-10.0	6.15
	C	7.23±0.004	4.0-9.5	6.0-8.5	4.8-7.2	7.3-9.7	8.71
CrT	0	7.45±0.020	5.0-9.5	6.0-9.0	4.6-7.4	7.6-10.0	9.72
	A	7.12±0.011	4.9-9.0	6.0-8.4	4.8-7.2	7.2-9.6	8.59
	B	7.24±0.005	4.0-9.5	6.0-8.5	4.8-7.2	7.3-9.7	8.62
	C	7.22±0.021	4.0-9.0	6.0-8.0	5.0-7.0	7.0-9.0	7.21
FL	0	7.75±0.003	4.0-10.0	6.5-9.0	5.5-7.5	7.8-9.8	6.78
	A	7.90±0.015	6.0-9.5	7.0-9.0	5.9-8.1	7.9-10.0	7.11
	B	7.69±0.009	4.9-9.5	6.5-8.6	5.4-7.6	7.5-9.7	7.17
	C	7.75±0.004	4.0-10.0	6.5-8.7	5.5-7.5	7.8-9.8	6.60
HL	0	8.07±0.021	6.5-9.5	7.0-9.0	6.0-8.0	8.0-10.0	6.49
	A	6.94±0.004	3.5-9.0	5.5-8.0	4.4-6.6	6.9-9.1	8.29
	B	6.97±0.019	4.5-8.5	5.5-8.0	4.1-6.9	6.6-9.4	10.13
	C	6.87±0.010	3.5-9.0	5.5-7.8	4.4-6.6	6.7-8.9	8.31
OF	0	6.96±0.004	4.0-9.0	5.5-8.0	4.4-6.6	6.9-9.1	8.15
	A	6.78±0.017	5.5-8.0	6.0-7.5	5.2-6.8	6.7-8.3	6.29
	B	6.91±0.004	3.5-9.5	5.5-8.0	4.2-6.8	6.7-9.3	9.44
	C	7.04±0.021	5.0-9.0	5.5-8.5	4.0-7.0	7.0-10.0	10.93
OF	0	6.77±0.011	3.5-9.0	5.5-8.0	4.2-6.8	6.7-9.3	9.64
	A	6.95±0.005	4.0-9.5	5.5-8.0	4.2-6.8	6.7-9.3	9.24
	B	6.65±0.018	5.5-8.0	5.5-7.5	4.6-6.4	6.6-8.4	6.72
	C	7.80±0.004	4.5-10.0	7.0-9.0	6.0-8.0	8.0-10.0	6.62
OF	0	7.90±0.016	6.0-10.0	7.0-9.0	5.9-8.1	7.9-10.0	7.19
	A	7.78±0.009	5.5-9.5	6.5-8.5	5.5-7.5	7.5-9.5	6.92
	B	7.79±0.004	4.6-10.0	7.0-9.0	6.0-8.0	8.0-10.0	6.35
	C	8.37±0.022	7.0-10.0	7.5-9.5	6.6-8.4	8.6-10.0	6.29

* Values between 2.5 and 97.5 percentile. Where: 0 overall is the value including all the competitions; A including only the competitions with 1 judge; B with 2 judges; C with 3 judges and D with 5 judges
For the abbreviations of the analyzed traits see Table 1

Table 4: Percentage of variance and significance level for the different factors on the eight morphological traits analyzed in the PRE competitions

Factors	HN	SW	CT	BL	CrT	FL	HL	OF
Section	5.019 (***)	1.669 (***)	7.004 (***)	0.892 (***)	0.819 (***)	0.617 (**)	0.584 (***)	1.329 (***)
Judge	0.210 (**)	8.394 (***)	13.247 (***)	3.542 (***)	3.560 (**)	26.151 (***)	15.809 (***)	6.282 (***)
Stud	2.133 (***)	0.996 (***)	1.873 (***)	2.147 (***)	2.044 (***)	1.234 (***)	0.801 (***)	1.822 (***)
Coat	0.917 (***)	0.181 (n.s.)	0.138 (n.s.)	0.181 (n.s.)	0.072 (n.s.)	0.509 (*)	0.196 (n.s.)	0.349 (*)
Competition	15.563 (***)	32.365 (***)	6.441 (***)	24.846 (***)	7.109 (***)	8.830 (***)	28.051 (***)	2.420 (***)
Type	0.561 (**)	0.102 (***)	0.876 (***)	0.508 (**)	0.319 (*)	0.124 (***)	0.097 (***)	8.403 (***)
Judge*section	2.214 (***)	2.565 (***)	3.062 (***)	1.489 (***)	2.635 (***)	2.542 (***)	1.608 (***)	1.800 (***)
Judge*stud	1.271 (***)	0.982 (***)	1.604 (***)	0.702 (**)	1.057 (***)	0.726 (***)	0.286 (n.s.)	2.881 (***)
Judge*coat	0.966 (***)	0.186 (n.s.)	0.290 (n.s.)	0.208 (*)	0.398 (**)	0.161 (n.s.)	0.076 (n.s.)	0.648 (***)
Judge*competition	4.605 (***)	10.290 (***)	4.767 (***)	7.022 (***)	4.843 (***)	7.207 (***)	11.529 (***)	9.357 (***)
Judge*type	2.934 (***)	1.966 (***)	0.666 (n.s.)	1.819 (*)	2.595 (***)	2.873 (***)	1.386 (n.s.)	5.002 (***)

Where: significance level is * p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001, and n.s. is not significant
For the abbreviations of the analyzed traits see Table 1

When analyzed by type of competition, a high CV was shown in competitions with one judge (A) and almost a progressive decrease in CV was observed with increased number of judges. It might be the case that animals that participate in competitions with one judge are less homogeneous, because they are in low level competitions

where all kinds of animals can participate. Conversely in the highest level competitions despite having more judges (3-5 judges), therefore more likely to be more variability in assessments, the CV was the lowest. In these competitions, the judges feel free to use a bigger scale, because the scores of one judge are not going to be compared directly with the score of other judges. When there were three different judges (C) in the competition, they used the lowest range of the scale more than the highest one. The judges demonstrated high differences amongst the horses, but they were homogeneous in their appraisers when compared between them amongst themselves. This is consistent with this result, in the competitions with five judges (D), the lowest CV and the highest mean scores. This was because in this competition there were highly selected horses that go to the final championship (classified in previous competitions with lower level), and therefore they are expected to be more homogeneous and with a higher breed quality.

As in previous analysis, every trait analyzed individually, and independently of the number of judges, also showed that judges didn't use all the range of the scores and the CV was usually lower than 10%. Reference limits (95%) ranged from 2.0 to 2.5. So, it might be necessary to train judges to use all the scale in order to collect the maximum level of variation from the population. Differences between minimum and maximum scores for the different traits varied from 6.0 points for head-neck, croup-tail and hind limb to 5.1 points for shoulder-withers and chest-thorax. Similar to these results were observed by Preisinger *et al.* (1991) in Trakehner judges, Dietl *et al.* (2005) in Mecklenburger Warmblood horse judges and Schroderus and Ojala (2010) in Finnhorse and Standardbred horse judges. The use of the whole scoring range would bring up better the differences between horses (Schroderus and Ojala, 2010) and it could be described as a resource for more exactness. The lowest scores for each trait are never given, with the lowest score used in this breed being 3.5 points for limbs and the upper one of 10 points in all traits excluding limbs and back-loins region. This could be explained by the fact that judges avoid extreme categories at the beginning of a sequence to maintain their degrees of freedom, that is, to have room for further fine tune their scoring (Fasold *et al.*, 2012). In this sense, only when judges have calibrated an internal scale, that is, a transformational rule that maps external input onto an available category system, they can use extreme judgments. Since the external input is heavily context dependent, this mapping process needs a certain number of observations from them to be judges-series (Fasold *et al.*, 2012).

In the factor analyses, Factor 1 includes separated morphological type of competition B of the rest of body traits and type of competition; whereas, right upper quartile show a clear relationship between the scores for the conformation of the limbs (forelimb and hindlimbs) and back-loins region. Limb conformation is clearly the most

serious morphological problem of the PRE horse (Molina *et al.*, 1999). Morphological type of competition D has had the highest relation with those "problematic" traits. This can be explained with the more horses participating in a morphological competition, the more relevance is given by the judges to the correct conformation of the limbs. In the left upper quartile type of competition A and C were more correlated with traits that were closely related to the breed quality of PRE horses: overall forms, head-neck, shoulder-withers and chest-thorax and croup-tail. Besides the impact on the breed quality, these regions are important for the capacity of performance of the horse. The head and neck determine athletic ability (Lawrence, 2001), back movement and stride characteristics at trot, as well as the stride length (Rhodin *et al.*, 2005). Indeed, Holmström (2001) suggested that good head-neck and neck-body insertion are more important than neck length for dressage ability. Lawrence (2001) also affirmed that the head-neck connection must be favourable to achieve free movement and flexion. Two conformation variables were analyzed in PRE to illustrate these two claims: *head-neck perimeter* and *neck-body perimeter*, both of which are correlated with biokinematic variables at trot (Sánchez *et al.*, 2013).

Another important issue for study of scores in morphological competitions is the analysis of possible external factors that influence the judge's score; different from the morphology of the animal evaluated (Table 4). Due to the structure of data, sex and age were not included because the available scores were collected in different sections according to sex and age (2.2% of the total variance). The percentage of variance (8.4%) for type of competition for overall forms of the horse in this study is remarkable. It seems that the broader and subjective the trait is, the more influential is the type of competition where the horses participated for its evaluation. Besides, the system of judging, based on the simultaneous assessment of all the individuals in a section, leads judges to decide after intuitively adjusting for these external factors. Suontama *et al.* (2009) also reported the importance of age and sex because of probable differences in selection intensity between the sexes and the stronger influence of the environmental factors (nutrition, training and overall management) on conformation scores when judging adult horses or foals. The influence of sex and age on this kind of data for PRE horses was also seen in the section. It is also important to remark that the competition had the highest percentage of variance for most of the analyzed traits and judges had higher importance in the variance than the type of competition by the number of judges. The importance of judge \times type and judge \times competition would suggest that scores have a high subjective component due to the individual interpretation of the scoring for a given judge and also according to the competition and to the level of the competition (type of competition).

Jose et al. / Int. J. Agric. Biol., Vol. 16, No. 3, 2014

Table 5: Estimations of the indexes of disagreement between the judges in two different levels (3 types) of PRE morphological competitions, grouped by the number of judges

Trait	Type		
	B (2 Judges)	C (3 Judges)	D (5 Judges)
HN	37.76	12.29	15.44
SW	53.68	19.86	28.02
CT	42.68	16.08	20.66
BL	32.57	9.49	24.06
CrT	35.44	14.52	18.43
FL	39.91	22.82	34.78
HL	31.14	7.85	37.64
H	33.59	12.61	16.19
Means.e	36.18±8.94	14.52±4.67	22.30±9.12

For the abbreviations of the analyzed traits see table 1

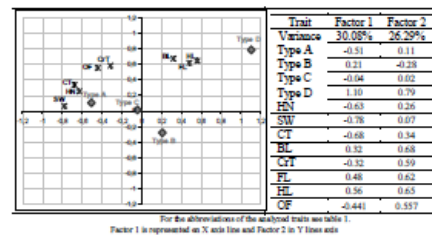


Fig. 1: Graphical representation of the principal components analysis for the eight morphological traits analyzed in the PRE competitions

According to Stefani (1998), some sports have a performance rating system in which judging plays a major role. So, the performance judgments are an inherent part of competitive sports behavior where judges perceived a stimulus, categorized it, store it in memory, and finally put it together with the retrieved memories and other available information to be integrated into a judgment and expressed as a decision in the scores (Plessner and Haar, 2006). The same psychological procedure is expected with the judges that participate in the PRE competitions, where “judge” was also one of the three main factors that influence the scores obtained by the animals (87.50%). The scores in these competitions drive subsequent re-orientation programs for individual participants but, perhaps more importantly, trends in judge behaviour shape the future of the breeding in the population (Hawson et al., 2010). And therefore, because of the high influence of the judge on the scores, the reliability of judging has to be assessed.

Conformation of horses according to breed quality cannot be objectively measured. In this sense, although judges pass a lot of courses to widen their knowledge and to standardize basic principles, the scores on how to judge in a particular case are often not sufficient and difficult to apply (Stachurska and Bartyzel, 2011). Therefore, the reliability

was evaluated using the methodology proposed by these authors. Although ID cannot be fully accurate, the general ranking was assumed as a proper indicator of an ideal horse, since it was decided by all the judges and no better indicators are available (Stachurska et al., 2006). So, the lower ID, the more consistent a judge was with the others. An ID of 0% means that the judge was entirely consisted with the others, whereas an ID of 100% means that it is totally inconsistent. It seems that even now, the best way to enhance the quality of judging does not consist-in increasing the number of judges who participate in each event, but of estimating and verifying their scores, as suggested by Stachurska and Bartyzel (2011). It is important to point out that Stachurska et al. (2005) proposed the elimination of the scores from judges with an ID higher than 20%, because they assumed that these judges did not agree with the total ranking. The increasing in the number of judges who participate in high level competition (3 to 5) is not recommended, because it raises the cost of the competition and gives disagreement results. So, on average, only the competitions with 3 judges (C) have adequate reliability according to this criterion. Therefore, in order to minimize the effects of the judge and to obtain the most reliable results, verifying the competition scores by checking the quality of judging and excluding the scores of the judges who considerably disagree with the others could be the best solution. Itemize the scores to describe conformation traits in more details and widening the judging scale to cover a large range of scores would also be very useful. Therefore, the training of the judges would be very important to ensure the validity of the records collected.

Acknowledgements

The authors wish to thank the Asociación Nacional de Criadores de Caballos de Pura Raza Española (ANCCE) for making available the data used in this research. We are also most grateful to Stachurska, A. and Bartyzel, K. on University of Life Sciences in Lublin for the freely available program for the estimation of the index of disagreement.

References

Asociación Nacional de Criadores de Caballos Españoles (ANCCE), 2012. *SICAB Closes his XXII Edition Meeting their Expectations in Terms of Number of Visitors*. [cited 25 November 2012]. Available from URL: www.ancce.es/mostrat_noticia.php?orden=861

Bruns, E., M. Bierbaum, D. Frese and H.J. Haring, 1978. Die Entwicklung von Selektionskriterien für die Reitferdenzucht. IV. Schätzung relativer o ökonomischer Gewichte anhand von Auktionsergebnissen. *Züchtungshefte*, 50: 93–100

Dietl, G., S. Hoffmann and N. Reinsch, 2005. Impact of trainer and judges in the mare performance test of Warmblood horses. *Arch. Tierz.*, 48: 113–120

Dobek, A., A. Borowska, K. Molinski and T.Szwaczkowski, 2012. Entropy analysis of performance test results of warmblood stallions. *J. Anim. Feed Sci.*, 21: 77–88

Druml, T., R. Baumung and J. Sölkner, 2008. Morphological analysis and effect of selection for conformation in the Noriker draught horse population. *Livec. Sci.*, 115: 118–128

Assessment Scores in Morphological Competitions of PRE / *Int. J. Agric. Biol.*, Vol. 16, No. 3, 2014

- Fasold, F., D. Menmert and C. Unkelbach, 2012. Extreme judgments depend on the expectation of following judgments: a calibration system. *Psychol. Sport Exercise*, 13: 197–200
- Hawson, L.A., A.N. McLean and P.D. McGreevy, 2010. Variability of scores in the 2008 Olympic dressage competition and implications for horse training and welfare. *J. Vet. Behav.*, 5: 170–176
- Holmström, M., L. E. Magnusson and J. Philipsson, 1990. Variation in conformation of Swedish warmblood horses and conformational characteristics of elite sport horses. *Equine Vet. J.*, 22: 186–193
- Holmström, M., 2001. Effects of conformation, editors. *Equine Locomotion*, United Kingdom: (ed), Saunders: 281–295
- Lawrence, L.A., 2001. *Horse Conformation Analysis*. Cooperative Extension; Washington State University
- Magnusson, L.E. and B. Thafvelin, 1985. Studies of the conformation and related traits of standardbred trotters in Sweden. *Ph. D. Thesis*, Swedish University of Agricultural Sciences, Skara
- Molina, A., M. Valera, R. Dos Santos and A. Rodero, 1999. Genetic parameters of morphofunctional traits in Andalusian horse. *Livest. Prod. Sci.*, 60: 295–303
- Muñoz, A., R. Santisteban, M.D. Rubio, R. Vivo, E.I. Agüera, B.M. Escribano and F.M. Castejón, 1997. Training as an influential factor on the locomotor pattern in Andalusian horses. *Zentralblatt für Veterinärmedizin. Reihe A.*, 44: 473–480
- Plessner, H. and T. Haar, 2006. Sports performance judgements from a social cognitive perspective. *Psychol. Sport Exercise*, 7: 555–575
- Preisinger, R., J. Wilkens and E. Kalm, 1991. Estimation of genetic parameters and breeding values for conformation traits for foals and mares in the Trakehner population and their practical implications. *Livest. Prod. Sci.*, 29: 77–86
- Rhodin, M., C. Johnston, K.R. Holm, J. Wennerstrand and S. Drevemo, 2005. The influence of head and neck position on kinematics of the back in riding horses at the walk and trot. *Equine Vet. J.*, 37: 7–11
- SAS, 2001. *Sas/Statistical Users Guide for Personal Computer*. release 6.18.SAS. Institute, Inc. Cary, N.C, USA
- Sánchez, M.J., M.D. Gómez, F. Peña, J.L. Morales A. Molina and M. Valera, 2013. Relationship between conformation trait and gait characteristics in Spanish Purebred horses. *Arch. Tierz.*, 13: 137–148
- Schroderus, E. and M. Ojala, 2010. Estimates of genetic parameters for conformation measures and scores in Finnhorse and Standardbred foals. *J. Anim. Breed. Genet.*, 127: 395–403
- Schwark, H.J., P. Petzold and I. Nörenberg, 1988. Untersuchungen zur Auswahl von Selektionskriterien bei der Weiterentwicklung der Pferdezucht der DDR. *Arch. Tierz.*, 31: 279–289
- Stachurska, A. and K. Baryżel, 2011. Judging dressage competitions in the view of improving horse performance assessment. *Acta Agric. Scan. Section A – Anim. Sci.*, 61: 92–102
- Stachurska, A., J. Niewczas and M. Markowski, 2005. *An Estimation of Reliability of Judging the Horse Dressage Competitions*. 56th Annual Meeting of the European Association for Animal Production June 5–8 2005, Uppsala, Sweden
- Stachurska, A., M. Pieta, J. Niewczas and W. Markowski, 2006. The Freestyle dressage competition as a test of the horse's performance. *Equine Comparative Exercise Physiol.*, 3: 93–100
- Stefani, R., 1998. Predicting outcomes. In: *Statistics in Sport*, pp: 249–275. Bennet, J. (ed.). Arnold, London
- Suontama, M., M.T. Saastamoinen and M. Ojala, 2009. Estimates of non-genetic effects and genetic parameters for body measures and subjectively scored traits in Finnhorse trotters. *Livest. Sci.*, 124: 205–209

(Received 04 April 2013; Accepted 28 May 2013)

3.2 CAPÍTULO II: SISTEMA DE CALIFICACIÓN MORFOLÓGICA LINEAL

Este segundo capítulo está constituido por un artículo científico:

- Sánchez, M.J., Gómez, M.D., Molina, A., Valera, M. (2013). Genetic analyses for linear conformation traits in Pura Raza Español horses. *Livestock Science* 157, (1), 57-64.

RESUMEN

En el segundo capítulo de la presente Tesis Doctoral se estudia el sistema de Calificación Morfológica Lineal (CML), propuesto en el programa de mejora del PRE, para la valoración de la conformación a través de las variables morfológicas más relacionadas con la aptitud funcional para la Doma Clásica. Los resultados se han recogido en el artículo *“Genetic analyses for linear conformation traits in Pura Raza Español”*, publicado en la revista *Livestock Science* en el año 2013.

Para llevar a cabo este estudio se estimaron los parámetros genéticos de los rasgos morfológicos de la ficha de CML, puesta a punto en el caballo PRE (31 variables morfológico lineales, 20 primarias y 11 secundarias), y se analizó la calidad de la información obtenida por los 12 calificadores a través de los parámetros de fiabilidad y repetibilidad. Los datos morfológicos utilizados para el estudio procedieron de 4.158 registros de CML pertenecientes a 2.512 caballos PRE. Todos los caballos tenían edades comprendida entre 2 y 28 años, teniendo el 75,44% de ellos edades comprendidas entre los 3 y los 7 años.

Para determinar la calidad de la ficha de CML y de los calificadores se estimó la repetibilidad (probabilidad de que se otorgue la misma calificación para el mismo rasgo y el mismo caballo en dos calificaciones diferentes realizadas por el mismo calificador) y la reproducibilidad de cada uno de los 31 rasgos de la ficha de CML (probabilidad de que dos calificadores diferentes asignen la misma calificación para el mismo rasgo y el mismo caballo). Los valores de repetibilidad oscilaron entre 0,61 y 1,00, obteniendo todos los calificadores, excepto el calificador 1, un valor de repetibilidad promedio aceptable (<0,95). La reproducibilidad de cada rasgo también fue estimada, presentando 30 de los rasgos un valor de reproducibilidad superior a 0,90 (la excepción fue el ángulo de la grupa con 0,89). Cabe destacar que los rasgos secundarios con un coeficiente de de variación superior al 30% fueron los que tuvieron los valores de reproducibilidad más bajos (entre 0,89 y 0,96), por lo que es muy recomendable armonizar la definición de estos rasgos y evitar diferencias de interpretación entre los distintos calificadores. Destacar también que aunque los calificadores utilizaron prácticamente toda la escala de la ficha para la mayoría de las variables, y que tanto la repetibilidad como la reproducibilidad eran adecuadas, es conveniente para lograr una mayor uniformidad realizar cursos de formación y un testaje periódico de los calificadores.

Se estimaron los parámetros genéticos (heredabilidad y correlaciones genéticas) de las 31 variables de la ficha de CML, mediante un modelo animal multivariado, utilizando el software VCE6 (Groeneveld et al., 2010). Los efectos fijos incluidos en el modelo genético fueron: la edad, el sexo, la ganadería criadora

y la combinación del concurso y el calificador. Para estimar los parámetros genéticos se probaron dos estrategias:

A. Modelo de medidas repetidas, utilizando todos los animales que obtuvieron registros repetidos (896 PRE con un promedio de 2,88 registros por animal).

B. Modelo sin medidas repetidas en las que se utilizó una única medida por cada uno de los animales. En este caso se utilizó la primera calificación realizada.

Las heredabilidades estimadas en la opción A) fueron de rango bajo a moderado, oscilando entre 0,07 (ángulo del hombro) y 0,36 (longitud de la cabeza) para los 20 rasgos primarios de la ficha (directamente relacionada con las medidas corporales), y de 0,09 (ángulo frontal de la rodilla) a 0,24 (unión cabeza-cuello) para los 11 rasgos secundarios (no relacionados directamente con las medidas morfológicas objetivas).

Las heredabilidades estimadas en la opción B fueron ligeramente inferiores a las estimadas en la opción A, oscilaron entre 0,02 (ángulo del hombro) y 0,27 (longitud de la cabeza) para los rasgos primarios, y desde 0,05 (ángulo del corvejón lateral) a 0,15 (unión cabeza-cuello) en los rasgos secundarios.

El 45,0% y 39,8% de las correlaciones genéticas significativas fueron $\geq 0,50$ para la base de datos A y B respectivamente, obteniéndose el mayor valor de correlación genética en la base de datos A) entre las variables distancia isquion-babilla y la longitud de la grupa y en la base de datos B entre armonía y fidelidad racial.

Los parámetros genéticos obtenidos en este estudio indican que el sistema de calificación lineal es capaz de generar información de calidad sobre las características de conformación en la población PRE y que la selección es factible, pudiéndose mejorar o corregir los caracteres morfológicos de los animales con un programa de apareamientos entre reproductores basado en los valores genéticos de cada uno de los rasgos evaluados. En el último capítulo de esta Tesis Doctoral se determina la combinación de los rasgos morfológicos que están más relacionados con la Doma Clásica con el fin de desarrollar un Índice de Selección Morfológico para la Doma Clásica que contribuya a la mejora del rendimiento deportivo del caballo a través de la selección de los rasgos morfológicos más relacionada con la Doma Clásica.

3.2.1 ARTÍCULO 3 (CAPÍTULO II). GENETIC ANALYSES FOR LINEAR CONFORMATION TRAITS IN PURA RAZA ESPAÑOL HORSES

Título: Análisis genético para rasgos de conformación lineales en caballos de Pura Raza Español

Autores: Sánchez, M.J.¹, Gómez, M.D.¹, Molina, A.², Valera, M.¹

Afiliación:

¹Departamento de ciencias Agro-Forestales, ETSIA, Universidad de Sevilla, Carretera Utrera km1, 41013 Sevilla, España.

²Departamento de Genética, Universidad de Córdoba, C.U. Rabanales, Carretera Madrid-Cádiz, km 396a, 14071 Córdoba, España.

Revista: **Livestock Science**, 157 (1), 57-64. 2013.

Índice de Impacto 1,100 (Journal Citation Report, 2013).

Área y cuartil: "Agriculture, Dairy and Animal Science" 2º cuartil (17/52)



Contents lists available at ScienceDirect

Livestock Science

journal homepage: www.elsevier.com/locate/livsci

Genetic analyses for linear conformation traits in Pura Raza Español horses



M.J. Sánchez^{a,*}, M.D. Gómez^b, A. Molina^b, M. Valera^a

^a Department of Agro-Forestral Sciences, ETSIA, University of Seville, Carretera Utrera km 1, 41013 Seville, Spain

^b Department of Genetics, University of Cordoba, C.U. Rabanales, Carretera Madrid-Cádiz, km 396a, 14071 Cordoba, Spain

ARTICLE INFO

Article history:

Received 30 October 2012

Received in revised form

16 July 2013

Accepted 19 July 2013

Keywords:

Genetic parameters
Genetic correlation
Heritability
Reproducibility
Spanish purebred horse

ABSTRACT

A linear assessment methodology was developed for the conformational data in the Pura Raza Español horse (Andalusian horse). The final design included 31 linear traits (20 primary and 11 secondary). A total of 4158 records from 2512 horses collected during 2008 and 2011 were included in the genetic evaluation. The genetic analyses were executed twice, the first one only with the first conformation assessment record of each animal (dataset 1: 2512 horses and records), and the second one, only for animals with more than one conformation records available (dataset 2: 876 horses and 2522 records). Genetic parameters were estimated using REML methodology (in a linear animal model), and age, sex, geographic region and combination of appraiser \times event were included as fixed effects in the model. For the analysis with dataset 2, permanent environment was also included as random effect. The pedigree file traced back the relationships to include a total of 12,385 (dataset 1) and 3025 (dataset 2) horses. After the repeatability and reproducibility of the system were evaluated, according to our results, the appraisers used the whole scale and showed an adequate level of repeatability (≥ 0.95), and the reproducibility of analyzed traits was over 0.90 for all traits. Despite the fact that the quality of the morphological assessment can be considered adequate, further training is recommendable for appraisers in order to improve uniformity. Heritabilities with dataset 1 were low-moderate, ranging from 0.06 ± 0.026 (*angle of shoulder*) to 0.35 ± 0.044 (*head length*) for the primary traits, and from 0.08 ± 0.032 (*frontal angle of knee*) to 0.23 ± 0.035 (*head-neck junction*) for the secondary ones. Heritabilities found with dataset 2 were slightly lower than those obtained with dataset 1. Genetic correlations between traits were also obtained, which ranged from 0.92 to 0.00 in both datasets. These results must be taken into account in order to reduce the number of traits routinely collected in this population.

© 2013 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

It is generally considered that conformation is more important in horse breeding than in other species (Preisinger et al., 1991), particularly in those breeds traditionally selected for their morphological characteristics (breed quality), such as the Pura Raza Español horse (PRE). Besides, conformation defines the limits for the range of

movement and function, and the ability of horses to perform (Mawdsley et al., 1996), and it is suggested that it has a relevant impact on movement, performance, soundness (Preisinger et al., 1991) and dressage ability (Barrey et al., 2002). Therefore, using conformation traits might be a useful means of supporting selection for performance, since performance traits have low heritabilities and can be measured only late in life (Koenen et al., 1995). In fact, conformation has been proposed for its capacity as a performance indicator with high heritabilities (Saastamoinen and Barrey, 2000).

Visual conformation appraisal of livestock is probably the oldest way of collecting information for selection

* Corresponding author. Tel.: +34 954 487748; fax: +34 954 486436.
E-mail address: v32sagum@gmail.com (M.J. Sánchez).

procedures (Janssens and Vandepitte, 2004). Traditionally, conformation has been scored subjectively, with different aspects being rated on a numerical scale in relation to an ideal value. Subjective evaluation has been defined as judging through the use of a personal opinion or feeling as the ultimate criterion for what is deemed good and correct (Magnusson, 1985; Mawdsley et al., 1996). This has been the standard approach to the evaluation of conformation for breeding and beauty according to the breed standard, currently used in the PRE population for mare and stallion inspections and in horse-shows, respectively. However, this evaluation system has been criticized because of the lack of agreement with functional potential (Sánchez et al., 2012). For the Warmblood horses, two important drawbacks were noted when evaluating conformation according to the breed standard: conformation was appraised in a global manner and the judges' preferences (in relation to their conformation ideal) played an important role in the final scores (Rustin et al., 2009), and therefore, the scores were a judgement and not a "neutral" description. Consequently, it was deemed necessary to develop a new system to provide more accurate and uniform evaluations to help breeding decisions (Foster et al., 1989). This was first introduced in dairy cattle, and a linear assessment of conformation traits has been applied to most livestock species.

The linear scoring system has been designed to evaluate individual traits on a linear scale, including all the variability in the population (Samoré et al., 1997). By assessing traits individually rather than in combination and by describing rather than evaluating, this method may facilitate identification of differences between individuals (Koenen et al., 1995).

Thompson et al. (1981, 1983) indicated several advantages of a linear scoring system over a descriptive one: it records degree rather than desirability, the categories used cover the biological range, a wide range of numerical classes can be used, which allows for analyses on a continuous scale, heritabilities for linear traits are comparable to or slightly higher than corresponding traits scored in relation to an ideal, and linear scoring allows for the interpretation of biological relationships between conformation traits.

The breeding program of PRE includes conformation (Gomez et al., 2009), reproduction (Valera et al., 2006) and performance traits (Miro et al., 2006; Molina et al., 2008; Valera et al., 2008), as the main selection criteria. A linear system has been developed to collect suitable data for genetic evaluation of conformation traits.

The main aim of this study is to estimate the genetic parameters for the linear conformation traits appraised in PRE and to analyze the quality of the information obtained by the appraisers to ensure it is used appropriately for the genetic evaluation of this breed.

2. Material and methods

2.1. Description of the database

The complete database included a total of 4158 conformation records collected between 2008 and 2011, at 51

official events of PRE horses. They belonged to 2512 adult horses (47.1% males and 52.9% females), aged 3 years old or more (average age: 5.99 ± 2.87 years). There were 876 PRE horses with repeated measures with a total of 2522 conformation records.

Conformation assessment was based on the linear-type trait classification systems for horses, proposed by several authors and partly introduced into breeding schemes (Holmström et al., 1990; Koenen et al., 1995; Preisinger et al., 1991; Van Bergen and Van Arendonk, 1993).

A total of 31 different traits were evaluated (Table 1), 20 of which were primary traits (directly related with body measurements) and 11 of which were secondary traits (not related with objective measurements). Traits were chosen for their economic relevance, for their potential for improving performance, chiefly dressage, (Koenen et al., 1995; Sánchez et al., 2013), for their potential for avoiding defects (mainly limb defects) and for the possibility of being evaluated accurately by the appraisers.

The linear assessment was carried out by a total of 12 appraisers, using a structured score sheet. These appraisers had previously been trained and tested in order to select those who had provided the most accurate ratings in the previous practical tests. In this way, each appraiser evaluated an average of 346.5 records from an average of 209.3 different horses.

The appraisals used a scale of 9 classes, in which the extremes represented the biological extremes for each trait.

2.2. Statistical and genetic model

The basic statistics for each trait were performed using Statistica software 8.0 (Statsoft, Inc., 2007) with 1 record by horse (the first one if there were more than 1).

Two genetic models were carried out to estimate genetic parameters. For the 1st one conformation assessment record of each animal (dataset 1: 2512 horses and records) and non-included permanent environment effect were used. For the 2nd one, all records of animals with more than one conformation assessment record (dataset 2: 876 horses and 2522 records) and included permanent environment effect were used. Birth studs were grouped by geographical region where the animal was born, in order to include the effect of the region and the management Pedigree information for genetic evaluation was collected from the PRE official stud-book. At least four generations of the horses on record were considered the pedigree file for the genetic evaluation, making a total of 12,381 and 3025 animals respectively for the first and second models.

The genetic parameters (heritability and genetic correlations) were estimated using a multi-trait REML animal model, using VCE 6 software (Groeneveld et al., 2010).

$$\text{Model 1 : } Y_{ijklm} = Ag_i + Sex_j + Reg_k + App_l + a_m + e_{yijlm}$$

$$\text{Model 2 : } Y_{ijklmn} = Ag_i + Sex_j + Reg_k + App_l + a_m + pe_n + e_{yijklmn}$$

where Y was the analyzed score; Ag_i , the fixed effect of the i -th age group (9 classes: 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10–11, and > 12

Table 1
Statistical descriptions of the 31 linear type traits analyzed in the Pura Raza Español horse population with one record by horse (2512 horses in dataset 1).

Trait	Type	Class 1	Class 9	Mean ± s.e.	Mode	Range	C.V. (%)	
1	Head length	Prim	< 50	≥71	5.2 ± 0.02	5	2–9	19.4
2	Width of head	Prim	≤17	≥39	3.3 ± 0.01	3	2–7	18.4
3	Space between jaws	Prim	≤4	≥12	3.4 ± 0.02	3	1–9	34.9
4	Commissure of lips	Prim	≤7	≥15	3.0 ± 0.02	2	1–9	41.6
5	Head-neck junction	Sec	Very impasted	Very marked	5.0 ± 0.03	5	1–9	26.6
6	Upper neck line	Sec	Very thin	Very thick	5.5 ± 0.03	5	2–9	23.1
7	Length of neck	Prim	< 62	≥84	5.8 ± 0.03	6	1–8	25.3
8	Neck-body junction	Prim	< 2	≥23	3.7 ± 0.02	4	1–9	31.4
9	Width of chest	Prim	≤20	≥42	4.8 ± 0.02	5	2–9	23.8
10	Height of withers	Prim	≤3	≥11	5.9 ± 0.03	7	1–9	27.3
11	Length of back	Prim	≤25	≥40	5.3 ± 0.02	5	2–9	17.4
12	Length of loin	Prim	< 20	≥34	6.2 ± 0.02	7	1–9	16.5
13	Dorsal line	Sec	Convex	Very concave	5.0 ± 0.02	5	1–8	22.4
14	Length of shoulder	Prim	< 59	≥73	5.3 ± 0.03	4	2–9	30.8
15	Angle of shoulder	Prim	≤35	≥57	7.0 ± 0.02	7	2–9	13.4
16	Length of forearm	Prim	< 36	≥50	6.4 ± 0.02	7	2–9	16.2
17	Lateral angle of knee	Sec	Very buck-kneed	Very calf-kneed	5.1 ± 0.02	5	1–8	14.9
18	Frontal angle of knee	Sec	Very closed	Very open	5.3 ± 0.01	5	2–8	13.8
19	Cannon bone perimeter	Prim	≤16	≥24	5.2 ± 0.02	5	2–9	21.7
20	Length of croup	Prim	< 40	≥61	6.3 ± 0.02	7	2–9	15.2
21	Angle of croup	Prim	≤5	≥29	4.8 ± 0.04	7	1–9	42.8
22	Point of hip–stifle distance	Prim	< 40	≥61	3.7 ± 0.02	3	1–8	30.4
23	Ischium–stifle distance	Prim	< 47	≥61	4.4 ± 0.02	5	1–9	22.4
24	Length of buttock	Prim	≤35	≥55	5.7 ± 0.02	6	1–9	17.6
25	Length of leg	Prim	≤40	≥60	7.1 ± 0.03	7	3–9	19.0
26	Muscular development	Sec	Very scarce	Very developed	5.4 ± 0.02	6	2–9	21.0
27	Rear tendon development	Sec	Very thin	Very developed	4.9 ± 0.02	5	2–9	19.9
28	Hock from rear	Sec	Very convergent	Very divergent	3.9 ± 0.02	4	1–7	19.5
29	Lateral hock angle	Sec	Very closed	Very open	4.8 ± 0.02	5	2–9	21.9
30	Breed quality	Sec	Not true to type	True to type	6.1 ± 0.03	7	1–9	22.4
31	Harmony	Sec	Not harmonious	Very harmonious	5.5 ± 0.02	5	1–9	22.6

All lengths are shown in cm and all angles are shown in degrees. Prim=primary trait, Sec=secondary trait, Class 1=lowest biological class, Class 9=highest biological class.

years old), Sex_j the j -th sex (male, female); Reg_k the k -th geographic region (1, ..., 48), the l -th combination of appraiser-sevent (1=1, ..., 61); and the random effect of the m -th ($m=1, \dots, 12,381$) and random residual, pe_n ; random effect of n -th permanent environment ($n=1, \dots, 876$).

The evaluation of the system and the appraisers was carried out using the following parameters.

2.3. Repeatability

It is the probability of awarding the same rating for the same trait and the same horse in two ratings by the same appraiser. It was estimated as

$$1 - \frac{(\sum DAS)}{(NA \times MR)}$$

where DAS is the differential of two appraisals given by the same appraiser for the same horse in absolute values; NA is the number of animals with scores; and MR is the maximum range of possible difference² (in this case, 8²).

This parameter was evaluated for only nine appraisers, because they were the only ones for whom we had the necessary data.

2.4. Reproducibility

It is the probability that two appraisers produced the same appraisal for the same trait and the same horse. It was estimated as an intra-class correlation between horses, measured by more than 1 appraiser.

3. Results and discussion

The descriptive statistics of the 31 linear traits analyzed in the PRE population (dataset 1) is shown in Table 1. Most of the traits had a mean close to 5 on the assessed population, although some traits had a mean ranging from 3.0 ± 0.02 (*commissure of lips*) to 7.1 ± 0.03 (*length of leg*) for the primary traits, and from 3.9 ± 0.02 (*hock from rear*) to 6.1 ± 0.03 (*breed quality*) for the secondary ones.

In general, the coefficients of variation were high in this study (CV > 10%), ranging from 13.4% (*angle of shoulder*) to 42.8% (*angle of croup*) for primary traits, and from 13.8% (*frontal angle of knee*) to 26.6% (*head-neck junction*) for the secondary ones. A total of 41.9% of the traits analyzed produced a CV between 10% and 20%, 38.7% of them between 20% and 40%, and 19.4% of them over 30%. In general, therefore, there was an important phenotypic variation for the traits analyzed in this population, which could indicate a high genetic variation and guarantee a sufficiently high selection response.

The mode parameter showed that the most common class used in this population ranged from 2 to 7 in primary traits and from 4 to 7 in secondary ones.

The range of classes used ranged between 5 and 8 classes, and 7 or more of the classes used accounted for over 87% of the traits analyzed. The use of the full scale allowed for more accurate differentiation between horses, while capturing all the variation present in the population analyzed. Nevertheless, it could sometimes produce difficulties because of the pre-selection of the animals included in the datasets (individuals with serious morphological defects were not presented for the assessments), and, therefore, a linear type trait description had not been performed for them (Vostry et al., 2009). As shown by Breen (2009), linear methodology may be better than a subjective scoring system with an improved use of the scale than the traditional evaluation systems, by highlighting differences between the animals (Vostry et al., 2009). In the sample analyzed, the full scale was used in 11 traits (*space between jaws, commissure of the lips, head-neck junction, neck-body junction, height of withers, length of loin, angle of croup, ischium-stifle distance, length of buttock, breed quality and harmony*) and only 1 trait (*width of head*) having less than 6 classes used. Therefore, the use

of the scale described here may be considered suitable for the assessment of PRE, and appraisers were able to use it to distinguish most of the biological variability existing in the population. However, the training and continuous evaluation of appraisers is very important to achieve this goal (Janssens et al., 2004).

4. Repeatability and reproducibility of the system and the appraisers

The quality of the genetic evaluations depends largely on the truthfulness of data collected. In the linear methodology, it depends largely on the quality of the appraisers (Janssens et al., 2004). The analysis of the appraisers' procedure provides essential information for the development of the linear scoring system. In order to obtain suitable information for genetic evaluations, it is essential that appraisers use the full range of possible classes and their scores are reliable. In this study, the evaluation of appraisers was carried out using two parameters: repeatability and reproducibility (Table 2).

The repeatability could partially be improved by practical and/or statistical interventions, as in dairy cattle, where it is a common practice to train appraisers to be

Table 2
Repeatability of appraisers and reproducibility of traits for the of the 31 linear type traits analyzed in the Pura Raza Español horse population with repeated records (876 horses in dataset 2).

Trait	Repeatability of appraisers										Reproducibility of trait
	1	3	4	5	6	9	10	11	12		
1 Head length	0.94	1.00	0.99	0.95	0.99	0.98	1.00	0.99	0.98	0.97	
2 Width of head	0.97	1.00	0.97	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	0.94	0.99	
3 Space between jaws	0.86	0.998	0.96	0.94	0.98	0.97	1.00	0.98	1.00	0.95	
4 Commissure of the lips	0.97	0.99	0.99	0.94	0.98	0.97	0.99	0.98	0.94	0.95	
5 Head-neck junction	0.97	0.96	0.99	0.97	0.97	0.96	0.98	0.96	0.86	0.96	
6 Upper neck line	1.00	0.98	1.00	0.95	0.99	0.99	0.97	0.98	0.94	0.97	
7 Length of neck	0.94	0.99	1.00	0.96	0.97	0.97	0.99	0.97	0.86	0.95	
8 Neck-body junction	0.97	0.99	0.99	0.96	0.99	0.96	0.99	0.97	0.98	0.97	
9 Width of chest	0.90	0.99	0.99	0.99	1.00	0.98	1.00	0.99	0.98	0.97	
10 Height of withers	0.97	0.99	0.98	0.97	0.99	0.97	0.99	0.98	0.86	0.93	
11 Length of back	0.98	1.00	0.98	0.98	0.98	0.98	1.00	0.99	0.98	0.98	
12 Length of loin	1.00	0.99	0.98	0.95	1.00	0.98	1.00	0.99	1.00	0.97	
13 Dorsal line	1.00	0.97	0.96	0.96	0.97	0.98	0.99	0.98	0.86	0.97	
14 Length of shoulder	0.61	1.00	0.99	0.94	0.96	0.96	1.00	0.99	0.94	0.92	
15 Angle of shoulder	1.00	0.98	0.99	0.95	0.98	0.98	1.00	0.99	1.00	0.98	
16 Length of forearm	0.98	1.00	0.99	0.95	0.98	0.98	0.98	0.99	0.94	0.97	
17 Lateral angle of knee	0.98	0.99	0.96	0.99	1.00	0.99	0.98	1.00	1.00	0.99	
18 Frontal angle of knee	1.00	0.98	0.99	1.00	1.00	0.98	0.98	0.99	1.00	0.99	
19 Cannon bone perimeter	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	
20 Length of croup	0.98	1.00	0.96	0.96	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	0.98	
21 Angle of croup	0.98	0.99	1.00	0.97	0.95	0.93	0.99	0.96	1.00	0.89	
22 Point of hip-stifle distance	0.97	1.00	0.99	0.98	0.98	0.97	1.00	1.00	0.98	0.96	
23 Ischium-stifle distance	0.90	1.00	0.99	0.97	1.00	0.97	1.00	0.99	0.86	0.97	
24 Length of buttock	1.00	0.99	0.98	0.93	1.00	0.98	0.99	0.97	0.98	0.98	
25 Length of leg	0.98	0.99	0.99	0.90	0.98	0.97	1.00	0.97	0.98	0.95	
26 Muscular development	0.98	0.96	0.98	0.95	0.97	0.98	0.98	0.98	1.00	0.97	
27 Rear tendon development	1.00	0.99	0.96	0.98	0.97	0.98	0.99	0.98	1.00	0.97	
28 Hock from rear	0.98	0.99	0.98	0.99	1.00	0.98	0.99	0.99	1.00	0.98	
29 Lateral hock angle	1.00	0.99	0.99	0.97	0.99	0.98	0.99	0.98	0.98	0.97	
30 Breed quality	0.98	0.95	0.98	0.98	0.98	0.94	0.99	1.00	0.98	0.95	
31 Harmony	0.97	0.97	0.99	0.98	0.99	0.91	0.98	1.00	0.98	0.95	
Average	0.95	0.99	0.98	0.96	0.98	0.97	0.99	0.98	0.96	0.89	
Maximum	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	0.99	
Minimum	0.61	0.96	0.96	0.90	0.95	0.91	0.97	0.96	0.86	0.96	

as uniform as possible (Rustin et al., 2009). However, it appears to be difficult to use a detailed scale properly, since appraisers tend to prefer certain categories (Van Steenberghe, 1989). The estimates of repeatability of the system ranged between 0.61 and 1.00 (Table 2). Except Appraiser 1, all appraisers had an acceptable average repeatability value (> 0.95).

The reproducibility of the traits was also very important, because it allowed appraisers to discern the small differences between classes within the biological scale of the population. The 31 traits analyzed showed a high value of reproducibility (≥ 0.90), with the *angle of croup* as the lowest value (0.89, Table 2). These values showed that the scoring procedure in this breed was suitable. However, it was remarkable that the linear traits with higher coefficients of variation ($> 30\%$) produced the lowest values of reproducibility (between 0.89 and 0.96), which made it highly recommendable to harmonize the definition of the traits and prevent differences in interpretation between appraisers.

Although the results obtained can be considered suitable, the testing and training of appraisers should be

continued in order to make assessments more consistent and uniform (Janssens et al., 2004). In this way, these results imply that appraisers should be trained using regular refresher courses (at least once a year) in order to ensure the collection of suitable information for the genetic evaluation of the animals.

5. Estimation of genetic parameters

The reliable estimation of genetic parameters (heritability and correlations) was essential to ensure that a breeding program was correctly carried out. The heritability estimates with the dataset 1 and dataset 2 for the traits analyzed, and comparison with the literature were shown in Table 3. They ranged in dataset 1 from low to moderate: from 0.06 ± 0.026 (*angle of shoulder*) to 0.35 ± 0.044 (*head length*) for the primary traits, and from 0.08 ± 0.032 (*frontal angle of knee*) to 0.23 ± 0.035 (*head-neck junction*) for the secondary ones. In dataset 2, they ranged from 0.01 ± 0.004 (*angle of shoulder*) to 0.26 ± 0.021 (*head length*) for the primary traits, and from 0.04 ± 0.010 (*lateral hock angle*) to 0.14 ± 0.013 (*head-neck junction*) for the

Table 3
Comparison with others breeds of the heritabilities estimated in the Pura Raza Español (PRE) horses for the 31 linear traits without and with repeated records (datasets 1 and 2, respectively).

Trait	PRE ^a	PRE ^b	SP ^c	DWRH ^d	H ^e	OKH ^f	BWH ^g
1	Head length	0.35	0.26				
2	Width of head	0.09	0.08				
3	Space between jaws	0.18	0.13				
4	Comissure of lips	0.21	0.09				
5	Head-neck junction	0.23	0.14		0.21	0.24	0.12
6	Upper neck line	0.12	0.12				0.16
7	Length of neck	0.14	0.16	0.31	0.21	0.24	0.12
8	Neck-body junction	0.10	0.04			0.15	
9	Width of chest	0.16	0.23	0.18			0.13
10	Height of withers	0.21	0.19		0.19		0.17
11	Length of back	0.23	0.12		0.18		0.34
12	Length of loin	0.14	0.10		0.18		0.14
13	Dorsal line	0.19	0.12		0.16		0.12
14	Length of shoulder	0.22	0.19	0.27	0.16	0.15	0.05
15	Angle of shoulder	0.06	0.01	0.26		0.09	0.01
16	Length of forearm	0.16	0.10			0.05	
17	Lateral angle of knee	0.19	0.09				
18	Frontal angle of knee	0.08	0.07				
19	Cannon bone perimeter	0.30	0.22				0.28
20	Length of croup	0.17	0.19	0.21	0.15	0.23	0.06
21	Angle of croup	0.15	0.09	0.10		0.09	
22	Point of hip-stifle distance	0.08	0.10				
23	Ischium-stifle distance	0.10	0.09				
24	Length of buttock	0.18	0.13				
25	Length of leg	0.16	0.17				
26	Muscular development	0.17	0.12		0.16		
27	Rear tendon development	0.13	0.12				
28	Hock from rear	0.12	0.05			0.10	
29	Lateral hock angle	0.09	0.04			0.16	
30	Breed quality	0.20	0.12				
31	Harmony	0.17	0.08				

^a PRE=Pura Raza Español (12,381 horses – dataset 1 – without repeated record).

^b PRE=Pura Raza Español (3025 horses – dataset 2 – with repeated record).

^c SP=Shetland Ponies (Van Bergen and Van Arendonk, 1993).

^d DWRH=Dutch Warmblood Riding Horse (Koenen et al., 1995).

^e H=Haflinger horse (Samoré et al., 1997).

^f OKH=Old Kladrub horse (Jakubec et al., 2009).

^g BWH=Belgian Warmblood horse (Rustin et al., 2009).

secondary ones. In general, the values obtained with dataset 1 were similar to and with dataset 2 were slightly lower than those reported in the reviewed literature for these kinds of traits in horses (Koenen et al., 1995; Rustin et al., 2009; Samoré et al., 1997; Van Bergen and Van Arendonk, 1993; Vostry et al., 2012) and similar to Jakubec et al. (2009). These values would permit an efficient selection of most of the conformational characteristics in the PRE population.

Heritabilities obtained with dataset 1 ranged from 0.09 ± 0.026 (*width of head*) to 0.34 ± 0.044 (*head length*) in the head and neck region. Heritability obtained for *length of neck* (0.14 ± 0.039) was slightly lower than those shown in the reviewed literature (Koenen et al., 1995; Rustin et al., 2009; Samoré et al., 1997; Van Bergen and Van Arendonk, 1993) and similar to Jakubec et al. (2009).

In the body region, heritabilities ranged from 0.14 ± 0.038 (*length of loins*) to 0.23 ± 0.039 (*length of back*). The heritabilities of body region traits were also similar to those reported by Jakubec et al. (2009) for the same traits in Old Kladrub horses and by Rustin et al. (2009) in Belgian Warmblood horses. The *height of withers* in the PRE population had a similar heritability value to that reported in Old Kladrub horses (Jakubec et al., 2009) and Dutch Warmblood riding horses (Koenen et al., 1995), but a lower value than that obtained in Belgian Warmblood horses (Rustin et al., 2009).

The heritabilities ranged from 0.06 ± 0.026 (*angle of shoulder*) to 0.30 ± 0.059 (*cannon bone perimeter*) for the traits analyzed in the forelimb region, and from 0.08 ± 0.037 (*point of hip–stifle distance*) to 0.18 ± 0.048 (*length of buttock*) for the traits analyzed in the hindlimb region.

The *angle of shoulder* (0.06 ± 0.026), *croup* (0.15 ± 0.055), and *length of croup* (0.17 ± 0.021) showed heritabilities in the same range as those presented in the reviewed literature (Jakubec et al., 2009; Koenen et al., 1995; Rustin et al., 2009; Samoré et al., 1997; Van Bergen and Van Arendonk, 1993).

Lastly, the general traits analyzed in the PRE population had shown heritabilities of 0.20 ± 0.038 for *harmony* and 0.17 ± 0.034 for *breed quality*.

The heritabilities found with dataset 2 (supplementary material Table 2) were slightly lower than or equal to those obtained for dataset 1 (except for *length of neck*, *width of chest*, *length of croup* and *point of hip–stifle distance*). In the head and neck region, heritabilities ranged from 0.04 ± 0.001 (*neck–body junction*) to 0.26 ± 0.021 (*head length*). In the body region, heritabilities ranged from 0.10 ± 0.015 (*length of loins*) to 0.23 ± 0.002 (*width of chest*). For the traits analyzed in the forelimb region, the heritabilities ranged from 0.01 ± 0.004 (*angle of shoulder*) to 0.22 ± 0.023 (*cannon bone perimeter*), and from 0.04 ± 0.010 (*lateral hock angle*) to 0.19 ± 0.021 (*length of croup*) for the traits analyzed in the hindlimb region. Finally, the general traits analyzed in the PRE population showed heritabilities of 0.08 ± 0.019 for *harmony* and 0.12 ± 0.031 for *breed quality*. The difference in the number of records could explain these four traits that had a slightly low heritability without the inclusion of the permanent environmental effect in the model.

Understanding the relationships between morphological traits is extremely useful in animal breeding for determining the breeding criteria and the possible breeding response of selection programmes. In previous papers, linear traits were evaluated separately, grouped by anatomical regions. In this way, no correlations were obtained between traits from different groups, resulting in a lack of information on possible relationships between traits, and potentially indirect selection responses. This is why the analysis of all traits jointly was recommended (Rustin et al., 2009).

In this study, the estimates of genetic correlations between the 31 traits analyzed with datasets 1 and 2 (Table 4) were used to evidence these relationships. Generally, the horses' body measurements tended to be significantly correlated between each other (Anderson et al., 2005; Magnusson, 1985; Smith et al., 2006). A large number of significant correlations ($p < 0.05$) were observed, for the genetic (51.2% and 63.1%) correlations, although only 45.0% and 39.8% of the significant genetic correlations were ≥ 0.50 for datasets 1 and 2 respectively.

The most closely correlated traits in dataset 1, from a genetic point of view, were *length of croup* and *cannon bone perimeter* (with genetic correlations of ≥ 0.70 for 8 different traits). These values must be taken into account if a selection of traits is to be made in order to reduce the number of analyzed variables in the official breeding program of this breed and to set up a morphofunctional genetic index.

In datasets 1 and 2, high genetic correlations ($r_g \geq 0.90$) were obtained between *breed quality* and *harmony* (0.91 and 0.92, respectively), as was expected, because a good muscular system and well-defined proportions are associated with correct leg stances and good movements (Schroderus and Ojala, 2010) and between *ischium–stifle distance* and *length of croup* (0.92 and 0.90, respectively), since the PRE has shown close correlations between the body lengths.

Although shape is very important for breed quality, Cervantes et al. (2009) concluded that size is more important than shape for morphofunctional characteristics in horses. When a high correlation between two traits exists, from a genetic point of view, little new information will be added by appraising the second trait. Therefore, these results must be taken into account in order to reduce the number of traits and to include in future genetic index traits related to functionality (mainly dressage).

6. Conclusion

The genetic parameters obtained in this study indicate that the linear scoring system is able to generate quality information on distinguishable conformation traits in the PRE population. The scale used presents sufficient variability to represent the whole biological variation in the population. The linear appraisers are generally repeatable, and the 31 analyzed traits are reproducible. However, even if the current data of appraiser and traits seem adequate, training of the appraisers could improve uniformity, and is therefore highly recommendable. Due to their close genetic correlations ($r_g \geq 0.90$), some strongly correlated

traits such as *ischium–stifle distance* and *length of croup* could be represented by a single trait. The magnitudes of heritabilities and genetic correlations indicate that selection is feasible and horse conformation traits could be improved with a suitable selection program based on the genetic evaluation for the different traits. Despite high amount of traits and always that computational capacity allows it, the use of a multiple-trait evaluation is recommended. This is because of the increase of accuracy in the estimated breeding values using information on correlated traits. Future studies will seek the combination of those traits which are more related to dressage in order to develop a genetic index selection that will contribute to the improvement of horse performance by selecting those morphological traits most related with dressage.

Conflict of interest

None.

Acknowledgments

The authors wish to thank the National Association of Pura Raza Español Horse Breeders (ANCCE) for providing the data used in this study.

Appendix A. Supporting information

Supplementary data associated with this article can be found in the online version at <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2013.07.010>.

References

- Anderson, C.N., Ramakrishnan, U., Chan, Y.L., Hadly, E.A., 2005. Serial SimCoal: a population genetic model for data from multiple populations and points in time. *Bioinformatics* 21, 1733–1734.
- Barrey, E., Desliens, F., Poirel, D., Biau, S., Lemaire, S., Rivero, J.L., Langlois, B., 2002. Early evaluation of dressage ability in different breeds. *Equine Exercise Physiol.* 34, 316–324.
- Breen, E., 2009. A Comparison of Judging Techniques and Conformation Traits in Irish Draught Horses (MSc Equine Science). University of Limerick.
- Cervantes, I., Baumung, R., Molina, A., Druml, R., Gutiérrez, J.P., Sölkner, J., Valera, M., 2009. Size and shape analysis of morphofunctional traits in the Spanish Arab horse. *Livest. Sci.* 125, 43–49.
- Foster, W.W., Freeman, A.E., Berger, P.J., 1989. Association of type traits scored linearly with production and herd life of Holsteins. *J. Dairy Sci.* 72, 2651–2664.
- Gómez, M.D., Valera, M., Molina, A., Gutierrez, J.P., Goyache, F., 2009. Assessment of inbreeding depression for body measurements in Spanish Purebred (Andalusian) Horses. *Livest. Sci.* 122, 149–155.
- Groeneveld, E., Kovac, M., Mielenz, N., 2010. VCE Users's Guide and Reference Manual Version 6.0. University of Ljubljana, Ljubljana (Slovenia).
- Holmstrom, M., Magnusson, L.E., Philipsson, J., 1990. Variation in conformation of Swedish Warmblood horses and conformational characteristics of elite sport horses. *Equine Vet. J.* 22 (3), 186–193.
- Jakubec, V., Vostřý, L., Schlote, W., Majzlik, I., Mach, K., 2009. Selection in the genetic resource: genetic variation of the linear described type traits in the Old Kladrub horse. *Arch. Tierz.* 52 (4), 343–355.
- Janssens, S., Vandepitte, W., 2004. Genetic parameters for body measurements and linear type trait in Belgian Bleu du Maine, Suffolk and Texel sheep. *Small Ruminant Res.* 54, 13–24.
- Janssens, S., Winandy, D., Tylleman, A., Delmotte, Ch., Van Moeseke, W., Vandepitte, W., 2004. The linear assessment scheme for sheep in Belgium: breed averages and assessor quality. *Small Ruminant Res.* 51, 85–95.
- Koenen, E.P.C., Van Veldhuizen, A.E., Brascamp, E.W., 1995. Genetic parameters of linear scored conformation traits and their relation to dressage and show jumping performance in the Dutch Warmblood Riding Horse population. *Livest. Prod. Sci.* 43, 85–94.
- Magnusson, L.E.V., 1985. Relationship between conformation and performance in 4-year old Standardbred trotters. Studies on the conformation and related traits of Standardbred trotters in Sweden SLU, Skara (Thesis).
- Mawdsley, A., Kelly, E.P., Smith, F.H., Brophy, P.O., 1996. Linear assessment of the Thoroughbred horse: an approach to conformation evaluation. *Equine Vet. J.* 28 (6), 461–467.
- Miró, F., Vivo, J., Cano, R., Diz, A., Galisteo, A.M., 2006. Walk and trot in the horse at driving: kinematic adaptation of its natural gaits. *Anim. Res.* 55, 603–613.
- Molina, A., Valera, M., Galisteo, A.M., Vivo, J., Gómez, M.D., Rodero, A., Agüera, E., 2008. Genetic parameters of biokinematic variables at walk in the Spanish Purebred (Andalusian) horse using experimental treadmill records. *Livest. Sci.* 116 (dummy1–3), 137–145.
- Preisinger, R., Wilkens, J., Kalm, E., 1991. Estimation of genetic parameters and breeding values for conformation traits for foals and mares in the Trakhener population and their practical implications. *Livest. Prod. Sci.* 29, 77–86.
- Rustin, M., Janssens, S., Buys, N., Gengler, N., 2009. Multi-trait animal model estimation of genetic parameters for linear type and gait traits in the Belgian Warmblood horse. *J. Anim. Breed. Genet.* 126, 378–386.
- Saastamoinen, M., Barrey, E., 2000. Conformation, locomotion and physiological traits. In: Bowling, A.T., Ruvinsky, A. (Eds.), *The Genetics of the Horse*, CABI, Wallingford, UK, pp. 461–462.
- Samoré, A.B., Pagnacco, G., Miglior, F., 1997. Genetic parameters and breeding value for linear type traits in the Haflinger horse. *Livest. Prod. Sci.* 52, 105–111.
- Sánchez, M.J., Gómez, M.D., Molina, A., Valera, M., 2012. Assessment of morphological and gait scores given by judges in the Spanish Purebred Horses' shows. In: Proceedings of the 63rd Annual Meeting of the European Association for Animal Production August 27–31, 2012, Bratislava, Slovakia.
- Sánchez, María José, Gómez, María Dolores, Peña, Francisco, Monterde, José García, Morales, José Luis, Molina, Antonio, Valera, Mercedes, 2013. Relationship between conformation trait and gait characteristics in Spanish Purebred horses. *Arch. Tierz.* 56, 13 10.7482/0003-9438-56-013.
- Schroderus, E., Ojala, M., 2010. Estimates of genetic parameters for conformation measures and scores in Finnhorse and Standardbred foals. *J. Anim. Breed. Genet.* 127, 395–403.
- Smith, A.M., Stanier, W.B., Splan, R.K., 2006. Associations between yearling body measurements and career racing performance in Thoroughbred racehorses. *J. Equine Vet. Sci.* 26 (5), 212–214.
- Statsoft Inc., 2007. *Statistica (data analysis software system) Version 8.0*. www.statsoft.com.
- Thompson, J.R., Freeman, A.E., Wilson, D.J., Chopin, C.A., Berger, P.J., 1981. Evaluation of a linear type program in Holsteins. *J. Dairy Sci.* 64, 1610–1617.
- Thompson, J.R., Lee, K.L., Freeman, A.E., Johnson, L.P., 1983. Evaluation of a linearized type appraisal system for Holstein cattle. *J. Dairy Sci.* 66, 325–331.
- Valera, M., Blesa, F., Santos, R.D., Molina, A., 2006. Genetic study of gestation length in Andalusian and Arabian mares. *Anim. Reprod. Sci.* 95, 75–96.
- Valera, M., Galisteo, A.M., Molina, A., Miró, F., Gómez, M.D., Cano, M.R., Agüera, E., 2008. Genetic parameters of biokinematic variables of the trot in Spanish Purebred horses under experimental treadmill conditions. *Vet. J.* 178, 219–226.
- Van Bergen, H.M.M., Van Arendonk, J.A.M., 1993. Genetic parameters for linear type traits in Shetland ponies. *Livest. Prod. Sci.* 36, 273–284.
- Van Steenberghe, E.J., 1989. Description and evaluation of a linear scoring system for exterior traits in pigs. *Livest. Prod. Sci.* 23, 163–181.
- Vostřý, L., Čapková, Z., Andrejsová, L., Mach, K., Majzlik, I., 2009. Linear type trait analysis in Coldblood breeds: Czech-Moravian Belgian horse and Silesian Noriker. *Slovak J. Anim. Sci.* 42, 99–106.
- Vostřý, L., Mach, K., Příbyl, J., 2012. Selection of a suitable data set and model for the genetic evaluation of the linear description of conformation and type description in Old Kladruber horses. *Arch. Tierz.* 55 (2), 105–112.

3.3 CAPÍTULO III: FUNCIONALIDAD. DOMA CLÁSICA

Este tercer capítulo está constituido por un artículo científico y un libro:

- Sánchez, M.J., Cervantes, I., Valera, M., Gutiérrez, J.P. (2014). Modelling genetic evaluation for dressage in Pura Raza Español horses with focus on the rider effect. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 131 (5), 395-402.
- Sánchez M.J., Azor P.J., Gómez M.D., Molina A., Solé M., Valera M. (2014). *Catalog of PRE Breeding Stock - 2014 Dressage and Eventing*. ISBN: 978-84-697-1746-2. Páginas: 71. Edita: Asociación Nacional de Criadores de Caballos Pura Raza Española

RESUMEN

El tercer capítulo de la presente Tesis Doctoral tiene por objeto estudiar y comparar diferentes modelos de valoración genética para la disciplina de Doma Clásica, a partir del control de rendimientos de los caballos participantes en PSCJ, mediante un proceso de validación cruzada.

La validación cruzada es una aproximación que nos permite evaluar y seleccionar modelos de valoración genética. Para ello, se emplea un conjunto de datos de entrenamiento (training set) para ajustar un modelo y otro conjunto de prueba (test set) para evaluar su capacidad predictiva. La forma en que se aplica la validación cruzada es mediante la división del grupo de datos disponible de manera aleatoria en k subconjuntos de igual tamaño y mutuamente excluyentes. A continuación se ajusta el modelo k -veces dejando fuera, cada una de las veces, uno de los subconjuntos, utilizándose este subconjunto omitido para evaluar el modelo. En nuestro caso, se han reconstruido los datos omitidos (test set) con el valor estimado de los distintos efectos en el training set y se ha calculado la correlación de esta reconstrucción con los datos fenotípicos obtenidos en esas pruebas. La validación cruzada con $k=10$ es una de las más utilizadas, pero hay que tener en cuenta el número de observaciones disponibles. Los resultados se han publicado en el artículo *“Modelling genetic evaluation for dressage in Pura Raza Español horses with focus on the rider effect”*, publicado en 2014 en la revista *Journal Animal Breeding and Genetics*.

La disciplina hípica en la que participan más caballos PRE es la Doma Clásica, estableciéndose en España en el año 2004 las PSCJ de esta disciplina para recoger los datos de control de rendimientos oficiales de los caballos participantes a edades tempranas. El objetivo principal es utilizar estos datos de rendimiento y de controles ambientales para obtener un valor genético a edades tempranas de la capacidad deportiva de los animales.

En este estudio se han utilizado un total de 8.867 registros de rendimiento de Doma Clásica de 1.234 caballos diferentes, con edades comprendidas entre los 4 y 6 años, participantes en las PSCJ celebradas entre 2004 y 2011. La puntuación final en la prueba de Doma Clásica (puntos por reprise) se utilizó como variable de rendimiento. La matriz de pedigrí contenía 8.487 caballos, incluyendo todas las generaciones conocidas de los animales en control.

Se aplicó un modelo animal BLUP, utilizando un enfoque bayesiano, con el software TM. La edad, el sexo del caballo, el tiempo de viaje previo a la prueba, el nivel de entrenamiento, la ganadería y el concurso se incluyeron como efectos sistemáticos en los 8 modelos analizados, además del efecto residual del animal presente en todos los modelos. Se compararon los 8 modelos combinando efectos aleatorios como el jinete, el binomio (interacción jinete-caballo) y el efecto ambiental permanente. El Modelo A solo incluyó el efecto residual y el animal, mientras que el resto de los modelos incluyeron otros efectos aleatorios: el Modelo B incluyó el efecto jinete, el C el efecto binomio, el D el jinete y el efecto binomio, el E el efecto ambiental permanente, el F el jinete y el efecto ambiental permanente, el G el binomio y el efecto ambiental permanente y por último el H el jinete, el binomio y el efecto ambiental permanente. Se utilizó la validación cruzada para evaluar la capacidad de predicción de los diferentes modelos.

Las hererabilidades oscilaron entre 0,22 en el modelo más complejo (modelo H) y 0,59 en el más simple (modelo A). La repetibilidad del rasgo, que se define como la suma de la heredabilidad y el efecto ambiental permanente, fue más o menos igual a las estimaciones de heredabilidad en los modelos que ignoraron el efecto ambiente permanente, mostrando una sobreestimación de la heredabilidad en estos modelos. El mejor modelo fue el que incluyó el efecto ambiental permanente, el jinete y el binomio (modelo H). En lo que se refiere a los efectos sistemáticos, el concurso y la ganadería de nacimiento resultaron efectos esenciales para ajustar correctamente los datos. Todas las correlaciones encontradas entre los valores reconstruidos y los reales fueron altas, creemos que como resultado del conjunto de datos bien estructurado y con varios registros disponibles para cada caballo. El Modelo D mostró la mejor bondad de ajuste, pero el modelo H mostró la mayor correlación entre las puntuaciones estimadas y las puntuaciones reales (0,74). El Modelo A, con sólo el animal como efecto aleatorio además del efecto residual, resultó el peor estimador de la realidad, con una correlación de 0,71 La habilidad de predicción disminuyó cuando los efectos sistemáticos fueron eliminados, en el siguiente orden: el jinete y el binomio (A), sólo el efecto binomio (C) y sólo el efecto del jinete (B). Para los modelos con el efecto ambiental permanente, se obtuvieron resultados similares. Se encontraron diferencias significativas entre los modelos H y A, y H y E. Estas conclusiones han ayudado a optimizar el modelo de valoración genética del caballo PRE para la Doma Clásica y también se ha utilizado para la evaluación genética de la aptitud funcional de otras competiciones hípcas en las que participen ejemplares PRE u otras razas equinas. Este modelo ha sido utilizado en la valoración genética difundida a través del libro editado por la ANCCCE.

3.3.1 ARTÍCULO 4 (CAPÍTULO III). MODELLING GENETIC EVALUATION FOR DRESSAGE IN PURA RAZA ESPAÑOL HORSES WITH FOCUS ON THE RIDER EFFECT

Título: Modelización de la evaluación genética para la doma Clásica en el caballo Pura Raza Español, con especial atención en el efecto jinete

Autores: Sánchez, M.J.¹, Cervantes, I.², Valera, M.¹, Gutiérrez, J.P.²

Afiliación:

¹Departamento de ciencias Agro-Forestales, ETSIA, Universidad de Sevilla, Carretera Utrera km1, 41013 Sevilla, España.

² Departamento de Producción Animal, Universidad Complutense de Madrid, España.

Revista: **Journal of Animal Breeding and Genetics** 130 (2014): 218-226.

Índice de Impacto 1,566 (Journal Citation Report, 2014).

Área y cuartil: "Agriculture, Dairy of Animal Science" 1º cuartil (12/57)

ORIGINAL ARTICLE

Modelling genetic evaluation for dressage in Pura Raza Español horses with focus on the rider effectM.J. Sánchez Guerrero¹, I. Cervantes¹, M. Valera² & J.P. Gutiérrez¹¹ Department of Animal Production, Complutense University, Madrid, Spain² Department of Agro-Forestry Sciences, ETSIA, University of Seville, Seville, Spain**Keywords**

Bayesian procedure; cross-validation; genetic parameters; horse; rider-horse interaction.

Correspondence

M.J. Sánchez Guerrero, Department of Agro-Forestry Sciences, ETSIA, University of Seville, Ctra. Ultrera km1, 41013 Seville, Spain.

Tel: +34 954 487748;

Fax: +34 954 486436;

E-mail: v32sagum@gmail.com

Received: 7 October 2013;

accepted: 20 February 2014

Summary

The most popular use of the Pura Raza Español horse in sport is for dressage competitions. Tests on young sport horses were first established in 2004 in Spain to collect data for the genetic evaluation of this breed's suitability for dressage. The aim of this study was to compare eight different models to find out the most appropriate way to include the rider in the genetic evaluation of dressage. A progressive removal of systematic effects from model was also analysed. A total of 8867 performance records collected between 2004 and 2011 from 1234 horses aged between 4 and 6 years old were used. The final score in the dressage test was used as the performance trait. The pedigree matrix contained 8487 individuals. A BLUP animal model was applied using a Bayesian approach with TM software. The horse's age, gender, travelling time, training level, stud of birth and event were included as systematic effects in all the models. Apart from the animal and residual effects that were present in all models, different models were compared combining random effects such as the rider, match (i.e. rider-horse interaction) and permanent environmental effects. A cross-validation approach was used to evaluate the models' prediction ability. The best model included the permanent environmental, rider and match random effects. As far as systematic effects are concerned, the event or the stud of birth was essential effects needed to fit the data.

Introduction

There is a growing demand for functional traits as selection objectives in the Pura Raza Español horse (PRE; 'Spanish Purebred') breeding programme given the increased interest in high-performance horses for sport competitions. Pura Raza Español horses with superior dressage performances have a greater economic value than the others as this is its most popular sport competition. The dressage discipline consists of a horse, guided by a rider, having to demonstrate its gaits at walk, trot and canter, and change between these gaits. All the performances are previously memorized by the rider, and a prescribed pattern of movements is followed. Apart from conformation, the breeding goal with PRE horses is therefore to improve

not only functionality in dressage, but, most importantly, gait quality, which is of great interest in dressage performance (Sánchez *et al.* 2013) especially for the selection of young horses.

Young horses (4–6 years old) were first tested in 2004 in Spain to collect data for the genetic evaluation of this breed's performance. One important environmental factor that influences horse performance is the rider (Kearsley *et al.* 2008; Bartolomé *et al.* 2013). Harmony, good communication and cooperation between horse and rider, known as 'match', are also key factors in performance outcomes in dressage competitions (Visser *et al.* 2008; Hawson *et al.* 2010; McGreevy & McLean 2010). Match has even been considered as a major influencing factor in equine welfare (McGreevy & McLean 2010). To achieve the

stated objectives in dressage, the working relationship relies heavily on how well the horses and riders cooperate. This interaction is also influenced by the level of experience of both rider and horse, together with an understanding of that particular horse's behaviour (Miller 2001; Visser *et al.* 2001, 2008), the riding skills of the rider (McGreevy & McLean 2010) and the degree of 'match' between horse and rider (Visser *et al.* 2003, 2008; McGreevy & McLean 2010; McLean & McGreevy 2010). Lewczuk (2007) also remarks that this interaction is useful when evaluating the training effect.

With the increasing professionalism of horse training and riding sport, the influence of the rider must be taken into account when interpreting gait scores (Becker *et al.* 2011). In the main exercise, known as 'dressage test', the horse is led by a rider round a track of a specific length while being evaluated by expert judges. The judges' scores are mainly based on the horse's movement, but also the degree of cooperation between horse and rider, as well as the influence of the rider's skill and experience. McLean and McGreevy (2010) suggest that equitation science can be used to provide better matches between horses and riders. The influence of the rider in top performing dressage horses is widely accepted.

The aim of this work was to assess the best model to predict dressage performance scores in PRE horses while studying the fit of the influence of the rider for use in future genetic evaluations. This study also analysed the convenience of simplifying the models by removing some of the systematic effects.

Materials and methods

Material

The data consisted of 8867 performance records from 1234 Pura Raza Español horses (1190 males and 44 females), aged between 4 and 6 years old. These horses belonged to a total of 330 studs of birth. There were an average of 3.1 different stallions by stud of birth, and each stallion performed its role in an average of 1.4 studs. Each horse had an average of 7.20 records. These were collected between 2004 and 2011 in all 179 official dressage tests (events) for young horses in Spain. In these events, the dressage discipline consists of two dressage tests, which is an exercise where different traits (canter, walk, trot, submission and overall appearance) are evaluated by 2 or 3 judges with a score from 1 to 10. The scores are then averaged and rescaled to a total score of 1–100 points. The final score of each dressage test in the

event was used as a performance trait. A description of the participants and collected data is shown in Table 1.

Pedigree information for genetic evaluation was collected from the PRE horse official studbook. The pedigree traced back all known generations for the participants totalling 8487 animals. The mean of equivalent complete generations for the participants was 10.0, which was calculated using a mean of inbreeding of 7.7% and a mean coancestry of 5.7%. These parameters were computed with ENDOG 4.8 (Gutiérrez & Goyache 2005).

Figure 1 shows the number of different riders riding one horse and the number of horses ridden by each rider. The average of different riders for one horse is 2.74, and the average of different horses ridden by one rider is 1.27. The rider–horse interaction effect combines the rider–horse pair and attempts to measure the different behaviour of a horse with specific riders, an effect referred to here as 'match'. Match had an average of 5.68 records across levels.

Genetic parameters

The genetic parameters were estimated using a Bayesian procedure applied to univariate mixed linear models. All the runs were carried out using the TM software (Legarra 2008).

The fitted models included the following systematic effects: age in years (4,5,6), gender (male, female) and travelling time (1,...,46), which referred to the combination of the following factors: 'transport to the event' (<30 min, 30 min to 2 h, 2–4 h, 4–6 h, 6–8 h and >8 h) and 'arrival time before the beginning of the event' (<6 h before, 6–12 h before, 12–24 h before and >24 h before). The horse's training (1,..., 41) was another systematic effect, defined as the com-

Table 1 Descriptive statistics of analysed data

	No. animals	No. performance records
Total	1234	8867
4 years old	779	3787
5 years old	622	3235
6 years old	320	1845
Participated at age of 4, 5 and 6	103	2199
Participated at two different ages	301	3442
Female	44	398
Male	1190	8469
Average by event	6.9	49.5
Average by stud of birth	3.7	26.9

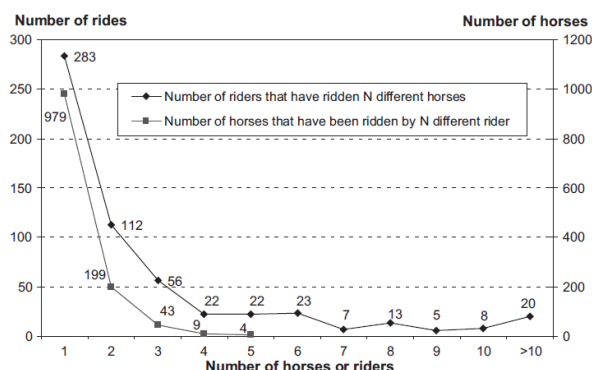


Figure 1 Horses ridden by more than one rider and vice versa.

bination of the factors ‘number of previous events in which the animal participated’ (<5 competitions, 5–10, 10–20 and >20), ‘daily hours of training’ (<3 h, 3–6 h, 6–10 h and >10 h) and ‘length of time for which the horse has been trained’ (<6 months, 6–12, 12–24 and >24 months). A new level of each effect was created for each component combination described above for these two effects. Travelling and training information was collected through a survey completed by the horse’s trainer, and in the case of travelling, veterinary travel guides were also checked. Data were checked to ensure that the distribution of records within training and travelling effect was independent. The other systematic effects were studied of birth (1, ..., 330) and event (1, ..., 179).

The equation in matrix notation for the model to be solved for a hypothetical trait considering all of the possible random effects was $\mathbf{y} = \mathbf{Xb} + \mathbf{Zu} + \mathbf{Wp} + \mathbf{Qr} + \mathbf{Nm} + \mathbf{e}$ and had:

$$\begin{pmatrix} \mathbf{u} \\ \mathbf{p} \\ \mathbf{r} \\ \mathbf{m} \\ \mathbf{e} \end{pmatrix} \sim N \left(\begin{pmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \end{pmatrix}, \begin{bmatrix} \mathbf{A}\sigma_u^2 & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I}\sigma_p^2 & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{I}\sigma_r^2 & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{I}\sigma_m^2 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{I}\sigma_e^2 \end{bmatrix} \right)$$

where \mathbf{y} is the vector of observations, \mathbf{X} the incidence matrix of systematic effects, \mathbf{Z} the incidence matrix of animal genetic effects, \mathbf{W} the incidence matrix of permanent environmental effects, \mathbf{Q} the incidence matrix of the rider effect, \mathbf{N} the incidence matrix of match effects, \mathbf{b} the vector of systematic effects, \mathbf{u} the vector of direct animal genetic effects, \mathbf{p} the vector of permanent environmental effects, \mathbf{r} the vector of rider

effects (1, ..., 571); \mathbf{m} the vector of match effects (1, ..., 984), \mathbf{e} the vector of residuals, σ_u^2 the direct genetic variance, σ_p^2 the permanent environmental variance, σ_r^2 the rider variance, σ_m^2 the match variance, σ_e^2 the residual variance, \mathbf{I} an identity matrix, and \mathbf{A} the numerator relationship matrix. Eight different models were tested including different random effects. Model A included animal and residual effects, while the rest of the models included other random effects: B the rider effect, C the match effect, D the rider and the match effects, E the permanent environmental effect, F the rider and the permanent environmental effects, G the match and the permanent environmental effects and H the rider, the match and the permanent environmental effects.

Marginal posterior distributions of all parameters were estimated using the Gibbs sampling algorithm. Prior distributions for systematic effects were assigned as bounded uniform prior distribution and the variance components σ_u^2 , σ_p^2 , σ_r^2 , σ_m^2 and σ_e^2 were scaled using inverted chi-squared distributions ($\nu = 2$ and $S = 0$) to perform a flat prior distribution. Total Gibbs chain lengths of 1 000 000 samples for each analysis were defined, with a burn-in period of 100 000 and a thinning interval of 100.

Model selection criteria

The lowest deviance information criterion (DIC) value (Spiegelhalter *et al.* 2002) was used as a criterion of fitness, and a cross-validation approach was used to evaluate their prediction ability (Efron & Tibshirani 1993). Cross-validation was originally employed to

evaluate the predictive validity of linear regression equations for forecasting a performance criterion from scores on a battery of tests (Mosier 1951), and nowadays, it is usually used in quantitative genetics (Olsen *et al.* 2012; Vazquez *et al.* 2012; Andonov *et al.* 2013).

For each model, the entire data set was randomly tenfold split into a training data set containing 6650 records (75%) to estimate the parameters and solve each model, and a validation data set with 2217 records (25%) to test the predictive ability of the model using the solutions obtained with the training set. Performances of the validation data set were reconstructed using the solutions for the model effects previously obtained with the training data sets. This procedure was based on the comparisons between real and predicted performances of the validation set, calculating the Pearson correlation (r) between real and predicted performances. Ten different random replicates of this procedure were carried out, and the Pearson correlations were averaged across replicates as a measure of the predictive ability of each model.

To analyse the convenience of simplifying the models by eliminating systematic effects, the correlation between the predicted scores and the real scores was computed using the best fitting model, while the solutions for each of the systematic effects were ignored. The statistical differences between the predicting ability of the eight models were analysed with a Fisher transformation, a two-tailed test for independent samples (Fisher 1970).

Results

Genetic parameter estimates

Table 2 shows the total variance, heritabilities and the ratio of random effects variance to phenotypic variance for all the fitted models. Values are accompanied by the standard deviation of the marginal posterior distribution. It should be noted that these are not standard error of estimates as a Bayesian analysis has been performed, and the standard deviation of their marginal posterior distribution usually tends to be much higher than the standard error. Heritabilities ranged from 0.22 in the most complex model (H) to 0.59 in the simplest one (A). Repeatability of the trait, defined as the sum of the heritability and environmental permanent effect ratio assessable in models accounting for the environmental permanent effect (models E to H), was roughly equal to the heritability estimates in models A to D, which ignored the environmental permanent effect, showing an overestimation of heritability in these scenarios. The ratios for

the permanent environmental effect of the horse were not relevant in models G or H.

Models A and E, which ignored the rider effect either alone or included in 'match', also led to an overestimation of the heritability (0.58 model A and 0.38 model E), as can be observed when compared with each counterpart model, either including the environmental permanent effect (0.22–0.30 models F to H) or not (0.28–0.39 models B to D). In addition, an overestimation of heritability appeared when the match or rider effects were ignored (models B and C) in comparison with model D, which included both effects. This overestimation was also present in models F and G compared with model H.

The rider effect accounted regularly for 24% to 26% of the phenotypic variance when this effect was present in the model either after fitting the match effect (models D and H) or not (models B and F). On the other hand, the match effect was influenced by the rider effect when the latter was not included in the model accounting for 25% (model G or model C), whereas the match influence decreased to 11% (model H) or 12% (model D) when both effects involving the rider were present in the models. In fact, when models D and H were compared with models B and F, respectively, it could be seen that a good portion of the match effect was mixed with the animal effect, which clearly decreased, particularly when the environmental permanent effect was absent. The lowest heritability value of 0.22 was obtained in the model including all the effects.

Model selection criteria

Two different criteria have been used in this work to choose the best model: the DIC value, which assessed the models' goodness of fit, and a cross-validation procedure, which studied their prediction ability.

DIC values for all the models are shown in Table 2. Under this criterion, the models with a lower DIC value were understood to fit better. Model D, for instance, which only included the rider and match as a random effect besides the animal and residual effects, had the best fit, closely followed by model H, which also included the environmental permanent effect. The worst-fitting models were those which ignored the rider, the match or both: model A (only including animal and residual effects) and model E (with the environmental permanent effect added).

Table 2 shows the averaged correlations across replicates between real and predicted records under the cross-validation procedure described in the methodology section. All the correlations were found to be very

Table 2 Phenotypic variance, mean and standard deviation of the marginal posterior distributions for the heritabilities, environmental permanent ratio, rider ratio, match ratio, deviation information criteria (DIC) and correlations between predicted scores under each model (Y_i) and real scores (Y_j) for the eight univariate models

	V_p	h^2	p^2	r^2	m^2	DIC*	Correlation Y_i, Y_j
Model A	20.84	0.59 ± 0.02	–	–	–	5.357	0.7068 ^b
Model B	22.30	0.39 ± 0.03	–	0.26 ± 0.03	–	5.294	0.7218 ^{ab}
Model C	20.09	0.36 ± 0.04	–	–	0.25 ± 0.03	5.280	0.7173 ^{ab}
Model D	21.13	0.28 ± 0.04	–	0.24 ± 0.03	0.12 ± 0.03	5.278	0.7234 ^{ab}
Model E	16.34	0.38 ± 0.09	0.19 ± 0.08	–	–	5.358	0.7043 ^b
Model F	18.98	0.24 ± 0.06	0.13 ± 0.05	0.26 ± 0.03	–	5.293	0.7297 ^{ab}
Model G	18.77	0.30 ± 0.06	0.06 ± 0.05	–	0.25 ± 0.03	5.280	0.7170 ^{ab}
Model H	19.72	0.22 ± 0.05	0.06 ± 0.04	0.24 ± 0.03	0.11 ± 0.02	5.278	0.7427 ^a

V_p , phenotypic variance; h^2 , heritability; p^2 , variance of environmental permanent effect/phenotypic variance; r^2 , variance of rider effect/phenotypic variance; m^2 , variance of match/phenotypic variance.

Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$).

Different letters (a, b or ab) indicate significant differences ($p < 0.05$).

*DIC × 10⁻⁶.

high, as a result of a well-structured data set with several records available for each horse. Model D showed the best goodness of fit, but model H, including the complete set of random effects, showed the greatest correlation between the predicted scores within each model and the real scores (i.e. 0.7427). Model A, with only the animal as random effect besides the residual effect, was found to fit the worst, with a correlation of 0.7068. Prediction ability decreased when the effects were eliminated in the following order: both rider and match effects (A), only the match effect (C) and only the rider effect (B). For models with the environmental permanent effect, similar results were found. Significant differences were found between models H and A, and H and E. To analyse the convenience of simplifying the models by eliminating systematic effects, the correlation between the predicted scores under each model and the real scores using model H (i.e. ignoring solutions for other systematic effects) was calculated. The correlation coefficient remained similar, despite gender, age, travelling time and training being removed from the model (i.e. 0.7430, 0.7415, 0.7399 and 0.7417, respectively) and decreased significantly if the event (0.6473) or the stud of birth was omitted (0.5922). No significant differences were found between the best model with all the systematic effects and the best model without gender, age, travelling time and/or training.

Discussion

Despite difficulties in prediction, the rider effect has been included in several studies of horse performance, either as a fixed or random effect (Jaitner & Reinhardt 1993; Aldridge *et al.* 2000; Kearsley *et al.* 2008; Gómez

et al. 2010; Bartolomé *et al.* 2013). However, this was the first time to our knowledge that the rider effect has been analysed in a horse population from the view point of prediction ability. Previous studies had indicated that including the rider in the models as an additional effect significantly improved the fit of the model to the data (Kearsley *et al.* 2008; Bartolomé *et al.* 2013), and Becker *et al.* (2011) noted the importance of the rider in motion exercises, suggesting that horses will have better chances of obtaining high gait scores when guided by skilful riders than by less experienced riders.

Choosing the best way to include the rider effect, and its relationship with the animal as regards the goodness of fit, should reflect better the true state of the horse's nature. However, as far as horse competitions are concerned, it is more desirable to have a model that can predict the performance of a particular horse better when guided by a particular rider. Moreover, regarding selection decisions, prediction ability also seems to be a better criterion for choosing a model.

The final aim of BLUP methodology in the prediction of breeding values is the genetic improvement of the population (Legarra *et al.* 2005). Thus, the focus should be on the predictive ability of the models, and it was noteworthy that the models that included the rider influence in some way predicted the records better than those including neither the rider nor the match.

A previous cross-validation study in racing performance horses (Norwegian and North Swedish cold-blooded trotters) resulted in much lower values (0.26–0.27) for the correlation between predicted and real data (Olsen *et al.* 2012). The high magnitude of

the correlations obtained in our study was probably due to the robustness of the analysed data structure, with a large number of records per horse (i.e. 7.2), the equal distribution of records within the levels of the random effects related to the rider and the particularities of the PRE horse, which is a close-bred population with reliable, long-standing pedigree information.

No significant differences were found between model H and those including at least one rider-related effect (Table 2), which shows that fitting the effect as the rider on its own or as a combination of 'match' does not make much difference at least to the basic level of competition. However, all these models except the one including the whole set of effects did not significantly differ from other models, which did not fit the permanent environmental effect. Consequently, the complete model, including the whole set of effects, seems to be the most appropriate. Regarding possible simplifications of the model as regards gender, age, training or travelling time, these systematic effects could be removed from the model, as there were no significant differences in the correlations between real and predicted data using the best model. However, effects such as the event or the stud of birth are essential to fit the data. This result suggests that some of information collected was unnecessary and could be omitted from the recording data sheet. One noticeable result was the high correlations found between real and predicted records – a fact that shows how highly predictable competition results are when using an appropriate linear model.

Estimated heritabilities were higher than those reported by other authors such as Huizinga and Van der Meij (1989), Koerhuis (1992) (0.11) and Koenen *et al.* 1995 (0.17) for the Dutch Warmblood Horse, Wallin *et al.* (2003) for Swedish Warmblood riding horses (0.16–0.17), Kearsley *et al.* 2008 (0.09–0.11) and Stewart *et al.* 2010 (0.11–0.15). However, our results were similar to those obtained by Thorén *et al.* (2006) (0.35) and Philipsson *et al.* (1990) in Swedish Warmblood Horse (0.20–0.40). It must be noted that in models A to C, and E to F, heritability was overestimated, but the results from models D and H were more similar to those found by other authors. Therefore, when neither the rider effect nor the match was included, heritability was overestimated, as these three effects were confused, which showed the need in some models for splitting the animal effect used fitted in simpler models. Also, if the environmental permanent effect is not fitted, this effect could be confused within the animal effect, which also led to an overestimation of heritability. To check the influence from non-repeated records for some ani-

mals, a correlation was calculated between breeding values with and without records from animals without repetitions. The result was 0.9745, so a repeatable structure was sound. The rider effect proved regularly to be one of the most important in all the models in which it was fitted, and it was also double the match effect when both effects were fitted jointly (models D and H), which suggested that the rider effect was much more important than the understanding between rider and horse defined in the match effect. The more effects regarding riders included in the model, the more the environmental permanent influence and animal effect decreased, which indicated that when these effects were absent, the rider and match effects were hidden among the animal and permanent environmental effects. In fact, the best way to fit the rider and/or horse–rider relationship has not been analysed before using cross-validation. In view of the results obtained, the animal and rider effects and the interaction between them (match effect) should be jointly fitted when the data structure is strong enough to separate them correctly.

In the PSCJ dressage test, the horse and rider are judged as a single team by dressage judges, based on the harmonious appearance of their performance. Dressage horses are therefore selected and/or trained to be highly sensitive to the rider's cues, so that the rider can communicate with the horse by minimal, hardly perceptible, cues (Von Borstel *et al.* 2010). The results reported here show some advantage in terms both of goodness of fit and of prediction ability of models including the rider or match compared with model A which omits it, but it seems that all the models had reasonably high prediction ability. However, the satisfactory results were a consequence of the well-structured data set and underline the importance of preselection of the data. These performance tests seem to have a suitable design in which to measure the best combination of rider–horse, as the performance attained by a horse can be predicted with high reliability. Nevertheless, this ideal data structure, so useful in discriminating the importance of rider and match effects, is not usually found in field data. A single rider usually rides several horses from a particular stud in dressage competitions. In our data, for instance, 288 riders rode more than two horses. However, it is unusual for a horse to be ridden by several riders, unlike our data set, in which 251 horses had been ridden by two or more different riders.

On the other hand, just as riders' personalities vary widely, horses display a wide variety of behaviour, and hence, it is a reasonable assumption that only a small proportion of possible combinations of personal-

ities result in optimal matches between horse and rider (Hausberger *et al.* 2008).

Prediction ability has been shown to be high in the models of dressage with PRE horses due to the aiding structure mentioned above and the fact that this population has remained closed for long and is therefore fairly homogeneous. The conclusions reached in this study can only be extended if further analysis is carried out in other populations and disciplines, such as thoroughbred racing horses, where splitting rider and match effects would theoretically be easy, as most of the horses are usually guided by different riders. In fact, the culture of betting is closely tied to disciplines, and these kinds of models would help in this case to come up with more reliable predictions.

Conclusions

The results agreed with previous reports, suggesting that ignoring the rider effect would negatively affect genetic evaluations in dressage. The controversy over the inclusion of the rider and the rider–horse interaction is set to continue being of great importance in the world of horse competitions. The best model to predict the performance of a particular rider–horse pair has been shown to be that which included environmental permanent, rider and match random effects. These conclusions will help to optimize the design of performance recording in dressage of Pura Raza Español horses and might also be used for tests with other horse competitions and populations.

Acknowledgements

The authors wish to thank the National Association of Pura Raza Español Horse Breeders (ANCCE) for providing the data used in this study.

References

- Aldridge L.I., Kelleher D.L., Reilly M., Brophy P.O. (2000) Estimation of the genetic correlation between performances at different levels of show jumping competitions in Ireland. *J. Anim. Breed. Genet.*, **117**, 65–72.
- Andonov S., Ødegård J., Svendsen M., Ådnøy T., Vegara M., Klemetsdal G. (2013) Comparison of random regression and repeatability models to predict breeding values from test-day records of Norwegian goats. *J. Dairy Sci.*, **96**, 1834–1843.
- Bartolomé E., Menéndez-Buxadera A., Valera M., Cervantes I., Molina A. (2013) Genetic (co)variance components across age for Show Jumping performance as an estimation of phenotypic plasticity ability in Spanish horses. *J. Anim. Breed. Genet.*, **130**, 190–198.
- Becker A.C., Stock K.F., Distl O. (2011) Genetic correlations between free movement and movement under rider in performance tests of German Warmblood horses. *Livest. Sci.*, **142**, 245–252.
- Efron B., Tibshirani R.J. (1993) Cross-validation and other estimates of prediction error. In: B. Efron, R.J. Tibshirani (eds), *An Introduction to the Bootstrap*. Chapman & Hall, New York, pp. 237–255.
- Fisher R.A. (1970) *Statistical Methods for Research Workers*, 14th edn. Hafner Publishing, Darien, CT, pp. 362.
- Gómez M.D., Menéndez-Buxadera A., Valera M., Molina A. (2010) Estimation of genetic parameters for racing speed at different distances in young and adult Spanish Trotter horses using the random regression model. *J. Anim. Breed. Genet.*, **127**, 385–394.
- Gutiérrez J.P., Goyache F. (2005) A note on ENDOG: a computer program for analysing pedigree information. *J. Anim. Breed. Genet.*, **122**, 172–176.
- Hausberger M., Roche H., Henry S., Visser E.K. (2008) A review of the human–horse relationship. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, **109**, 1–24.
- Hawson L.A., McLean A.N., McGreevy P.D. (2010) Variability of scores in the 2008 Olympic dressage competition and implications for horse training and welfare. *J. Vet. Behav.*, **5**, 170–176.
- Huizinga H.A., Van der Meij G.J.W. (1989) Estimated parameters of performance in Jumping and Dressage competition of the Dutch Warmblood horse. *Livest. Sci.*, **21**, 333–345.
- Jaitner J., Reinhardt F. (1993) Estimation of breeding values for performance test traits of stallions. In: *Proceedings of the 44th Annual Meeting of the European Association for Animal Production (EAAP)*. Aarhus (Denmark).
- Kearsley C.G.S., Woolliams J.A., Coffey M.P., Brothstone S. (2008) Use of competition data for genetic evaluations of eventing horses in Britain: analysis of the dressage, showjumping and cross country phases of eventing competition. *Livest. Sci.*, **118**, 72–81.
- Koenen E.P.C., Van Veldhuizen A.E., Brascamp E.W. (1995) Genetic parameters of linear scored conformation traits and their relation to dressage and show-jumping performance in the Dutch Warmblood riding horse population. *Livest. Prod. Sci.*, **43**, 85–94.
- Koerhuis A. (1992) Implementatie van een Multivariaat Animal Model ter Evaluatie van Sportprestaties van KWPN-Rijpasrden. Report 24. Department of Animal Breeding Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands, pp. 48.
- Legarra A. (2008) TM Threshold Model (available at: <http://acteon.webs.upv.es/>; last accessed 17 March 2014).

- Legarra A., López-Romero P., Ugarte E. (2005) Bayesian model selection of contemporary groups for BLUP genetic evaluation in Latxa dairy sheep. *Livest. Sci.*, **93**, 205–212.
- Lewczuk D. (2007) The effect of training on linear jumping parameters in young stallions. *Equine Comp. Exerc. Physiol.*, **4**, 159–165.
- McGreevy P.D., McLean A.N. (2010) *Equitation Science*. Wiley-Blackwell, Oxon, UK, pp. 314.
- McLean A.N., McGreevy P.D. (2010) Ethical equitation: capping the price horses pay for human glory. *J. Vet. Behav.*, **5**, 203–209.
- Miller R.M. (2001) Behaviour and misbehavior of the horse. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.*, **17**, 379–387.
- Mosier I. (1951) The need and means of cross validation. I. Problems and designs of cross-validation. *Educ. Psychol. Measur.*, **11**, 5–11.
- Olsen H.F., Klemetsdal G., Ødegård J., Árnason T. (2012) Validation of alternative models in genetic evaluation of racing performance in North Swedish and Norwegian cold-blooded trotters. *J. Anim. Breed. Genet.*, **129**, 164–170.
- Philipsson J., Arnason T., Bergsten K. (1990) Alternative selection strategies for performance of the Swedish Warmblood Horse. *Livest. Sci.*, **24**, 273–285.
- Sánchez M.J., Gómez M.D., Peña F., Morales J.L., Molina A., Valera M. (2013) Relationship between conformation trait and gait characteristics in Spanish Purebred horses. *Arch. Tierz.*, **56**, 137–148.
- Spiegelhalter J., Best G., Bradley P., Angelika V.D.L. (2002) Bayesian measures of model complexity and fit. *J. R. Stat. Soc. Series B Stat. Methodol.*, **64**, Part 4, 583–639.
- Stewart I.D., Woolliams J.A., Brotherton S. (2010) Genetic evaluation of horses for performance in dressage competitions in Great Britain. *Livest. Sci.*, **128**, 36–45.
- Thorén E., Viklund Å., Koenen E.P.C., Ricard A., Bruns E., Philipsson J. (2006) Review of genetic parameters estimated at stallion and young horse performance tests and their correlations with later results in dressage and show-jumping competition. *Livest. Sci.*, **103**, 1–12.
- Vazquez A.I., Perez-Cabal M.A., Heringstad B., Rodrigues-Motta M., Rosa G.J.M., Gianola D., Weigel K.A. (2012) Predictive ability of alternative models for genetic analysis of clinical mastitis. *J. Anim. Breed. Genet.*, **129**, 120–128.
- Visser E.K., Van Reenen C.G., Hopster H., Schilder M.B.H., Knaap J.H., Barneveld A., Blokhuis H.J. (2001) Quantifying aspects of young horses' temperament: consistency of behavioural variables. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, **74**, 241–258.
- Visser E.K., Van Reenen C.G., Engel B., Schilder M.B.H., Barneveld A., Blokhuis H.J. (2003) The association between performance in show-jumping and personality traits earlier in life. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, **82**, 279–295.
- Visser E.K., Van Reenen C.G., Blokhuis M.Z., Morgan E.K.M., Hassmen P., Rundgren T.M.M., Blokhuis H.J. (2008) Does horse temperament influence horse-rider cooperation? *J. Appl. Anim. Welf. Sci.*, **11**, 267–284.
- Von Borstel U.U.K., Duncan I.J.H., Lundin M.C., Keeling L.J. (2010) Fear reactions in trained and untrained horses from dressage and show-jumping breeding lines. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, **125**, 124–131.
- Wallin L., Strandberg E., Philipsson J. (2003) Genetic correlations between field test results of Swedish Warmblood riding horses as 4-year-olds and lifetime performance results in dressage and show jumping. *Livest. Sci.*, **82**, 61–71.

3.4 CAPÍTULO IV: FUNCIONALIDAD. DOMA CLÁSICA

Este cuarto capítulo está constituido por dos artículos científicos:

- Sánchez, M.J., Gómez, M.D., Molina, A., Valera, M. (2014). Relationship between conformation trait and gait characteristics in Pura Raza Español horses. *Archiv Tierzucht* 56 (1), 137-148.
- Sánchez, M.J., Molina, A., Cervantes, I., Gutiérrez, J.P., Valera M. (2015). Designing an early selection morphological linear traits index for dressage in Pura Raza Español horse. *Journal of Animal Science* (sometido).

RESUMEN

En el cuarto capítulo de la presente Tesis Doctoral se ha realizado un estudio de la relación entre la funcionalidad y la morfología del caballo PRE. Para ello, en primer lugar, se ha llevado a cabo un análisis de la relación entre distintas características de conformación y las características funcionales. En el programa de mejora del PRE, la mejora de la conformación, entendiéndola a ésta como la mejora de la morfología orientada hacia una determinada funcionalidad, es un objetivo específico. La manera más objetiva que existe de cuantificar la calidad de los aires que se desarrollan en los ejercicios de Doma Clásica es mediante estudios biocinemáticos apoyados en videografía. Sin embargo, no se suele emplear esta metodología en los controles rutinarios de rendimientos funcionales debido a que presenta una serie de inconvenientes: el coste económico que conlleva su implantación en los controles de rendimiento, el tiempo que implica el procesamiento de los datos y la necesidad de contar con personal cualificado para el análisis de los mismos. Por ello, lo que se usa en la práctica como control de rendimiento funcional de la raza, son las puntuaciones otorgadas por jueces en PSCJ o en Pruebas Federativas para la disciplina de Doma Clásica.

Aún así, y como base teórica que nos permita profundizar en la morfofuncionalidad de la raza, se decidió estudiar las relaciones entre las variables de conformación y las variables biocinemáticas al trote de caballos PRE. Los resultados de este estudio se han plasmado en el artículo titulado ***“Relationship between conformation traits and gait characteristics in Pura Raza Español horses”***, publicado en 2014 en la revista *Archiv Tierzucht*. El objetivo de este estudio fue estimar las correlaciones genéticas existentes entre 13 medidas zoométricas y 16 variables biocinemáticas (4 lineales, 6 temporales y 6 angulares) obtenidas en condiciones experimentales sobre una cinta rodante. Para ello, contamos con 130 caballos PRE pertenecientes a 24 ganaderías diferentes, con edades comprendidas

entre 4 y 7 años. Del total de correlaciones genéticas estimadas (206) entre las variables de conformación y las variables biocinemáticas, un 74,5% (155) fueron significativas y el 43,2% de estas estimaciones (67) fueron negativas, la mayoría de ellas (49,2%) con las variables angulares. Las correlaciones genéticas más altas (0,70) se obtuvieron entre el ángulo máximo de la pelvis y el perímetro de la unión del cuello con el tronco y entre el ángulo máximo de la pelvis y el perímetro del tórax; y la más baja (0,02 en valor absoluto) se encontró entre la duración de la fase de apoyo de las extremidades posteriores y el perímetro de la rodilla. Tan solo el 10,32% de las estimaciones fueron mayores o iguales a 0,50 (en valor absoluto). La longitud de la grupa fue el rasgo más correlacionado con las variables biocinemáticas al trote (correlacionada con 16 variables) y la anchura de la grupa el menos correlacionado (correlacionada con 7 variables). La amplitud y la duración del tranco de la extremidad anterior fueron las variables biocinemáticas más correlacionadas con las variables de conformación (12), mientras que el ángulo mínimo del carpo fue el menos correlacionado (5). Todas las variables de conformación se correlacionaron genéticamente, de forma significativa, con variables biocinemáticas al trote.

Este trabajo se ha completado con un estudio genético de las relaciones entre las variables morfológicas lineales y los resultados obtenidos en las pruebas de Doma Clásica por los caballos PRE. Los resultados de este estudio se han plasmado en el artículo titulado *“Design an index multitrait early selection for dressage in horse Pura Raza Español from morphological linear traits”* sometido en 2015, en la revista Journal of Animal Science.

Una selección morfológica temprana en el caballo PRE, que nos permita preseleccionar animales jóvenes por su aptitud morfo-funcional para la Doma Clásica, ahorraría tiempo y dinero al ganadero. Este es sin duda uno de los mayores retos del programa de mejora de esta raza, y para ello se estableció el sistema de CML como metodología de control de rendimientos de la conformación funcional de la raza en el año 2008. Así, el propósito de este trabajo fue el diseño de índices de selección basados en criterios morfológicos que tuviesen como objetivo el rendimiento deportivo en las pruebas de Doma Clásica, y que permitiesen la selección precoz de caballos para el rendimiento deportivo. Para ello, se calcularon 9 índices genéticos que incluyeron las variables morfológicas lineales.

Se utilizaron los modelos genéticos puestos a punto anteriormente para los 6 rasgos de rendimiento deportivo en Doma Clásica y para los rasgos lineales. Estos modelos genéticos se ejecutaron en primer lugar de manera univariada para calcular las heredabilidades y los valores genéticos de cada animal para cada una de las variables estudiadas. Partiendo de estos valores genéticos, se realizó un análisis de regresión PLS aplicando la metodología de "regresión rango reducido" para seleccionar las variables morfológicas lineales con mayor poder predictivo sobre los puntos totales por reprise, sobre las 5 notas parciales evaluadas por los jueces en los ejercicios de Doma Clásica (paso, trote, galope, sumisión e impresión general) y sobre las notas de cada uno de los aires (paso trote y galope). Se escogió el criterio de Wold (Wold, 1994) para seleccionar las 10 variables morfológicas lineales más relacionadas con los puntos totales por reprise, las 8 más relevantes para las 5 notas parciales de Doma Clásica y las 7 variables más relacionadas con las notas de los tres aires. Este criterio se basa en la importancia de variables de proyección que resume la contribución que una variable hace al modelo. Si un predictor tiene un coeficiente relativamente pequeño (en valor absoluto) y un valor de la importancia

de variables de proyección pequeño, entonces es un candidato ideal para la eliminación. Se considera que una variable con un valor criterio de Wold inferior a 0,8 no debe ser elegida, aunque en este trabajo elevamos el nivel de exigencia a 1. En total se escogieron 13 variables morfológicas lineales para elaborar los distintos índices genéticos: anchura de la cabeza, unión cabeza-cuello, línea superior del cuello, unión cuello-tronco, anchura del pecho, ángulo de la espalda, ángulo lateral de la rodilla, ángulo frontal de la rodilla, perímetro de la caña, longitud de la grupa, ángulo de la grupa, distancia isquion-babilla y ángulo del corvejón lateral.

La respuesta genética de los diferentes Índices de Selección varió según los objetivos y/o criterios seleccionados. Cuando se utilizó como objetivo de selección los puntos por reprise y como criterios de selección las 5 variables parciales de Doma Clásica la respuesta fue de 1,80. Usando como objetivo de selección las 5 variables parciales de Doma Clásica y como criterio los puntos por reprise la respuesta fue 0,16. Por último, usando como objetivo de selección los aires y como criterio la puntuación total por reprise la respuesta fue de 0,14. Con los mismos objetivos de selección, pero incluyendo como criterios de selección solo las variables morfológicas lineales seleccionadas (Índice de Selección Morfológico para la Doma Clásica), las respuestas fueron positivas, pero inferiores respecto a los índices que incluían como criterios únicamente rasgos de rendimientos (0,76, 0,04 y 0,03 respectivamente). Cuando se incluyeron en los criterios de selección variables morfológicas lineales y de rendimiento, la respuesta fue similar a cuando se usaron solo como criterios de selección variables de rendimiento (2,97, 0,16 y 0,15 respectivamente)

Por lo tanto nuestros resultados sugieren que es posible preseleccionar los caballos precozmente para participar en Doma Clásica, a partir de los valores genéticos estimados a partir del Índice de Selección Morfológica, aunque la respuesta es más alta cuando se incluyen criterios de selección funcionales.

3.4.1 ARTÍCULO 5 (CAPÍTULO IV). RELATIONSHIP BETWEEN CONFORMATION TRAITS AND GAIT CHARACTERISTICS IN PURA RAZA ESPAÑOL HORSES

Título: Relación entre las características de conformación y las características de la marcha en el caballo de Pura Raza Española

Autores: Sánchez, M.J.¹, Gómez, M.D.¹, Molina, A.², Peña, F.³ and Valera, M.¹

Afiliación:

¹Departamento de ciencias Agro-Forestales, ETSIA, Universidad de Sevilla, Carretera Utrera km1, 41013 Sevilla, España.

²Departamento de Genética, Facultad de Veterinaria, UCO, Ctra. Madrid-Cádiz (N-IV) Km.396^a, 14071-Córdoba, España.

³ Departamento de Producción Animal, Facultad de Veterinaria, UCO, Ctra. Madrid-Cádiz (N-IV) Km.396^a, 14071-Córdoba, España.

Revista: **Archiv für Tierzucht/Archives Animal Breeding**, 56 (37) 137-148 (2014).

Índice de Impacto 0,503 (Journal Citation Report, 2014).

Área y cuartil: "Agriculture, Dairy of Animal Science", 3 cuartil (43/57)

Original study

Relationship between conformation traits and gait characteristics in Pura Raza Español horses

María José Sánchez¹, María Dolores Gómez¹, Francisco Peña³, José García Monterde⁴, José Luís Morales⁴, Antonio Molina² and Mercedes Valera¹

¹Department of Agro-Forestry Sciences, ETSIA, University of Seville, Seville, Spain, ²Department of Genetics, University of Cordoba, Cordoba, Spain, ³Department of Animal Production, University of Cordoba, Cordoba, Spain, ⁴Department of Anatomy and Comparative Anatomy, University of Cordoba, Cordoba, Spain

Abstract

In the breeding program of breeds such as the Pura Raza Español horse, selection by gait quality is of great interest because of their use for dressage performance. However, biokinematic analyses are expensive and data processing is time consuming. So, indirect measurements related to movement quality are alternatively used for a precocious selection of the animals. The aim of this study is to estimate the genetic correlations between 13 conformation measurements and 16 biokinematic variables at trot (4 linear, 6 temporal and 6 angular) in order to identify objective selection criteria for locomotion ability. A total of 130 Pura Raza Español horses from 24 studs, aged between 4-7 years old, were measured and their biokinematic variables were obtained in experimental conditions on a treadmill. There were 155 significant genetic correlations between conformation and biokinematic traits. Croup length was the most correlated trait with biokinematic variables at trot (16), and croup width was the least correlated one (7). Forelimb length and forelimb duration were the most correlated with conformation measurements (12), whereas minimal angle of carpus was the least correlated one (5). All the conformation measurements were genetically correlated with biokinematic variables, and through these relationships when trotting, a total of 6 body measurements were selected for the indirect and precocious selection of gait quality, which could be included directly or combined in body indices.

Keywords: body measurement, equine locomotion, genetic correlation, treadmill

Archiv Tierzucht 56 (2013) 13, 137-148
doi: 10.7482/0003-9438-56-013

Received: 9 February 2012
Accepted: 22 June 2012
Online: 1 March 2013

Corresponding author:

María José Sánchez Guerrero; email: v32sagum@gmail.com
Department of Agro-Forestry Sciences, ETSIA, University of Seville, Ctra. Utrera km 1, 41013 Seville, Spain

© 2013 by the authors; licensee Leibniz Institute for Farm Animal Biology (FBN), Dummerstorf, Germany.
This is an Open Access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 3.0 License (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>).

Abbreviations: CH: croup height, CL: croup length, CmA: minimal angle of carpus, CV: coefficients of variation, CW: chest width, FD: forelimb duration, FL: forelimb length, FMH: forelimb maximum height of hoof, FMRP: maximal retraction-protraction angle of the forelimb, FStD: forelimb stance duration, FSwD: swing phase duration, HD: hindlimb duration, HeL: head length, HL: hindlimb length, HMH: hindlimb maximum height of hoof, HmRP: minimal retraction-protraction angle of the limb, HNP: head-neck perimeter, HP: hock perimeter, HStD: hindlimb stance duration, HSwD: swing phase duration, KP: knee perimeter, NBP: neck-body perimeter, PMA: maximal angle of pelvis, REML: restricted maximum likelihood procedure, SmA: minimal angle of stifle, TD: thorax depth, TmA: minimal angle of tarsus, TP: thorax perimeter, TW: thorax width, WC: croup width, WH: withers height

Introduction

The sport horse is an athletic animal whose value depends mainly on its performance in competitions. However, performance is the result of a complex combination of conformational, physiological and behavioural traits, which are heritable (Giulotto *et al.* 2001).

Traits included in breeding programs have to show good correlations with competition performance and they should also be possible to measure accurately early in life (Holmström *et al.* 1994). Conformation assesses the unalterable structure of an animal in relation to its function and it is of primary interest to breeders and owners, since overall body shape defines the limits for range of movement, the function of the horse and its ability to perform (Bakhtiari & Heshmat 2009, Rustin *et al.* 2009, Schroderus & Ojala 2010). Such results support the common practice of indirect performance selection via selection for functional conformation (Schröder *et al.* 2010). Therefore, it plays an important role in horse breeding and almost all breeding objectives for sport horses include functional-conformation and movements (Koenen *et al.* 2004), as an aid to improve performance in sport. In fact, gait traits have moderate to high positive correlations to dressage (Ducro *et al.* 2007).

Although talent can be considered as a very complex combination of more or less substitutive traits (Borowska *et al.* 2011), conformation traits in sport horses are not difficult to define and evaluate (Posta *et al.* 2007), and are used in indirect selection for performance traits, since most performance variables have low levels of heritability and can be measured only late in life (Koenen *et al.* 1995). The efficiency of indirect selection for performance depends on the genetic variation of conformation traits and on the genetic correlations between conformation and performance variables (Koenen *et al.* 1995).

In the Pura Raza Español horse breeding program, although selection by gait quality is of great interest, biokinematic analyses are very expensive. Therefore, indirect measurements related to gait quality would allow some cost saving, and it is used instead for a precocious selection of the animals. Thus, the genetic correlations between conformation measurements and biokinematic variables when trotting were estimated, in order to identify objective selection criteria for locomotive ability.

Material and methods

A total of 130 Pura Raza Español horse males from 24 different studs, chosen randomly, registered in the official stud-book, were evaluated at the Laboratory of Equine Performance Control (Veterinary Faculty of Cordoba, Spain) for conformation and biokinematic variables. Their age ranged from 4-7 years old (4.6 ± 1.5) and they were selected in order to be representative of most of the genetic lines of the Pura Raza Español horse population, with

an average inbreeding of 0.9 and coancestry of 0.05. Because of the complex methodology applied for the estimation of biokinematic variables in this work (with high spend of time and money), the reduced number of animals used for the estimation of genetic parameters is justified as in other published equine papers, with a number of animals ranging between 100 and 362 (Rivero *et al.* 1996, Barrey *et al.* 1999, Rivero & Barrey 2001, Górecka *et al.* 2006).

Conformation measurements

Conformation analysis was carried out through quantification of the main body measurements (Figure 1), following the methodology described by Cervantes *et al.* (2009). A total of 13 conformation measurements were included, instead of subjective evaluations, because these would improve the traditional judgement procedure, increasing the accuracy of the prediction of performance potential (Holmström *et al.* 1994), since they could be used as a descriptive tool (Barrey *et al.* 2002) and are more repeatable.

The measurements were taken by one person from the left hand side of the horse, on a flat, firm surface. The analysed measurements were (Figure 1): *head length* (HeL), *head-neck perimeter* (HNP), *neck-body perimeter* (NBP), *chest width* (CW), *thorax width* (TW), *thorax depth* (TD), *thorax perimeter* (TP), *croup length* (CL), *croup width* (WC), *knee perimeter* (KP), *hock perimeter* (HP), *withers height* (WH) and *croup height* (CH).

Biokinematic variables

All variables were recorded using a camcorder while horses were trotting on a treadmill at the constant speed of 4 m/s, following the methodology described by Valera *et al.* (2008). Adhesive markers were attached at pre-defined skeletal reference points which were easily identifiable and representative of the joints and radii under investigation (Figure 1).

A total of 16 biokinematic variables at trot (4 linear, 6 temporal and 6 angular) were analysed. All of them were selected because of their relationship with dressage ability.

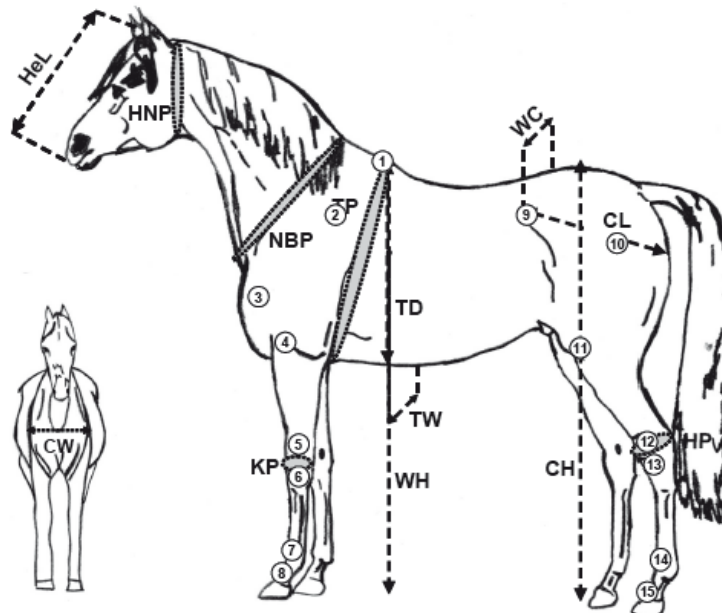
The linear variables were: *forelimb* and *hindlimb length* (because of their importance in the »overtracking« or »overreach« length in the trot, which is a desirable feature in Dressage), longer forelimb and hindlimb stride lengths are associated with lower stride frequencies, which are desirable in Dressage, according to Merz & Knopfhart (1996), and *forelimb* and *hindlimb maximum height of hoof* (because the Pura Raza Español horses exhibited elevated movements rather than extended movements of the limbs).

The temporal variables were: *forelimb* and *hindlimb duration*, *forelimb* and *hindlimb stance phase duration* (according to Holmström *et al.* [1994], horses judged as good at trot had longer stance phase duration compared to the poor horses and the stance phase duration increased with increased collection) and *forelimb* and *hindlimb swing phase duration* (because elite horses typically exhibited shorter stance durations in both fore and hindlimbs, which results according to Drevemo *et al.* [1980] on a longer swing phase duration).

Finally, the angular variables were: minimal angle of carpus, stifle and tarsus, minimal retraction-protraction angle of hindlimb, maximal retraction-protraction angle of forelimb, (because of their importance in dressage performance they could be characteristics to be included in the breeding program of the Pura Raza Español horse), and maximal angle of pelvis (which represents the maximum angle of the croup with respect to the horizontal

140 Sánchez *et al.*: Relationship between conformation traits and gait characteristics in Pura Raza Español horses

when the horse is moving). All this angles are important to get the movement described in the official breed standard: agile, high, extensive, harmonic and rhythmic, with a particular predisposition for collection and turns on haunches (Valera *et al.* 2009).



Markers are placed: 1: withers, 2: tuber of the spine of the scapula, 3: greater tubercle of the humerus (caudal part), 4: lateral collateral ligament of the elbow joint, 5: lateral styloid process of the radius, 6: base of the 4th metacarpal bone, 7: lateral collateral ligament of the fore fetlock joint, 8: coronet of the fore hoof (over the pastern axis), 9: tuber coxae, 10: greater trochanter of the femur (caudal part), 11: lateral collateral ligament of the stifle joint, 12: lateral malleolus of the tibia, 13: base of the 4th metatarsal bone, 14: lateral collateral ligament of the hind fetlock joint, 15: coronet of the hind hoof (over the pastern axis)

Figure 1
Graphical representation of the conformation measurements taken in the Pura Raza Español horse

Genetic and statistical analysis

A preliminary study of the phenotypic relationships between the analysed traits was carried out by making a factor analysis, using Statistica for Windows (StatSoft, Inc. Tulsa, OK, USA, version 8.0).

The genetic correlations were estimated by VCE v 6.1 (Groeneveld *et al.* 2010), using a multivariate mixed animal model. For the genetic analysis, the general model for this analysis was:

$$Y = X\beta + Z_1a + e \quad (1)$$

where Y is a vector of animal observations, β is the fixed effects vector (stud-season of evaluation, age of the animal), associated with the incidence matrix X , a is the vector of direct genetic effects, associated with the incidence matrix Z , and e is the random error effects matrix.

To complete the pedigree for the calculation of the inverse of the relationship matrix, the Pura Raza Español horse stud-book was used, and all the registered ancestors of the recorded animals were added until the fourth generation, making a total figure of 1 704 animals.

The additive genetic variance and covariance of the traits were estimated according to a Restricted Maximum Likelihood procedure (REML), using a Quasi-Newton algorithm with exact derivatives to maximise the log likelihood. An approximate standard error of the genetic correlations was estimated from the inverse of the approximation of the Hessian matrix when convergence was reached (Groeneveld *et al.* 2010).

Results and discussion

The assessment of a horse's merits by virtue of its conformation is as ancient as man's usage of the species. Conformation traits remain an interesting subject, because they are linked to desirable characteristics for breeders of performance and soundness (Bakhtiari & Heshmat 2009). Efficiency of horses is the main demand in all breeds with whatever purpose of use (Halo *et al.* 2008). Therefore, in sport horses, the objective evaluation of conformation and its relation to performance is of great importance (Moore 2010), and insufficient knowledge of the influence of conformation on performance and health can result in inaccurate selection. The breeding objective must be focused on the conformation traits (Jakubec *et al.* 2009), after all, the final aim of breeding programmes is a horse with certain conformation characteristics which stands out for its performance in sport (Belloy & Bathe 1996).

Nevertheless, the ideal conformation does not exist, because one conformation trait could be both advantageous for a certain locomotion characteristic and detrimental for others (Back *et al.* 1996).

When conformation measurements were analysed in the Pura Raza Español horse population (Table 1), the means obtained were similar to those reported in the same breed in previous analyses (Molina *et al.* 1999, Gómez *et al.* 2009) or in other breeds used for dressage performance, such as Lipizzan (Zechner *et al.* 2001) and Lusitano horses (Güedes 2008).

Descriptive statistics of the 13 conformation measurements are shown in Table 1. In general, their level of variation was medium to low, with coefficients of variation ranging between 2.3% (*croup height*) and 9.3% (*croup width*).

The coefficients of variation obtained were of a medium to low level (all of them lower than 10%). Similar results were shown in the same breed and in other selected breeds (Molina *et al.* 1999, Zechner *et al.* 2001, Güedes 2008, Bakhtiari & Heshmat 2009). Therefore, we concluded that the analysed population is sufficiently homogeneous for these characters.

Consequently, we aim to detect conformation measurements that are good indicators of locomotive and gaits quality. Specific characteristics of trotting and canter are required for dressage, and so could be selected genetically and contribute to performance. Although the gait and conformation tests could be applied in breeding programs to detect more accurately young horses with good dressage performance (Barrey *et al.* 2002), its routine application is very expensive and the data processing takes a long time.

142 Sánchez *et al.*: Relationship between conformation traits and gait characteristics in Pura Raza Español horses

The present work aimed to estimate correlations between conformation measurements and biokinematic variables at trot (Table 2). Trotting quality (for dressage) is determined mainly by the amplitude of limb movements, the elasticity and a marked phase of suspension (Moore 2010). So, it is not a surprise that horse conformation conditioned locomotion ability (Güedes 2008). This relationship between conformation and function is a constant in physical issues.

Table 1
Descriptive statistics of 13 body measurements in 130 representative Pura Raza Español horses¹

Traits	Mean \pm SE	Minimum	Maximum	CV
WH	157.89 \pm 0.337	147.0	167.0	2.42
CH	158.02 \pm 0.313	149.5	169.0	2.25
CL	54.39 \pm 0.217	48.5	61.0	4.20
WC	17.98 \pm 0.161	15.0	24.0	9.29
HNP	89.81 \pm 0.342	80.0	100.0	4.35
TD	66.67 \pm 0.210	57.0	72.0	3.53
NBP	146.35 \pm 0.761	123.0	165.0	5.60
CW	31.92 \pm 0.285	26.0	40.5	9.20
HeL	61.30 \pm 0.170	56.0	67.0	3.18
HP	44.14 \pm 0.224	37.0	52.0	5.36
KP	33.80 \pm 0.215	31.0	37.0	3.81
TP	188.96 \pm 0.517	173.0	202.0	2.99
TW	40.61 \pm 0.330	32.0	47.0	8.78

¹The measurements are expressed in cm and the coefficients of variation in %.

The 155 significant genetic correlations between conformation measurements and biokinematic variables at trot (74.5 % of the total number of estimated correlations), are shown in Table 2 – 43.2 % of these were negative, most of them (49.2 %) with angular variables. The highest genetic correlation was 0.70 (*maximal angle of pelvis* with *neck-body perimeter* and with *thorax perimeter*), and the lowest (absolute value) was between *hindlimb stance phase duration* and *knee perimeter* (0.02). Only 10.32 % of them were higher than or equal to 0.50 (absolute value).

Croup length was the most correlated measurement with biokinematic variables at trot (16 genetic correlations), and *croup width* was the least correlated one (7). *Forelimb length* and *forelimb duration* were the variables most correlated with conformation measurements in this analysis (12), whereas the *minimal angle of carpus* was the least correlated one (5).

Croup length has been the trait which correlated most closely with all the biokinematic variables analysed. Previous papers have shown the importance of the croup, for example in the Spanish Arab horse, for »size« analysis, and the most significant differences between morphological and endurance aptitude were observed in the posterior triangle (Cervantes

Table 2
Significant genetic correlations (with standard errors) between 13 body measurements and 16 biokinematic variables at trot in 130 representative Pura Raza Español horses

TRAIT	VAR	CORR	TRAIT	VAR ^b	CORR	TRAIT	VAR	CORR
WH	FL	0.25 ± 0.034	HNP	FL	0.25 ± 0.091	HP	FL	0.15 ± 0.052
	FD	0.26 ± 0.035		FD	0.26 ± 0.091		FD	0.16 ± 0.052
	FStD	0.35 ± 0.033		FStD	0.32 ± 0.089		FStD	0.21 ± 0.052
	FSwD	0.34 ± 0.034		FSwD	0.30 ± 0.090		FSwD	0.20 ± 0.052
	FMH	-0.18 ± 0.055		FMH	-0.19 ± 0.099		FMH	-0.19 ± 0.057
	HL	0.55 ± 0.032		HL	-0.07 ± 0.029		HL	0.32 ± 0.038
	HD	-0.55 ± 0.032		HD	0.07 ± 0.029		HD	-0.32 ± 0.038
	HStD	-0.33 ± 0.045		HMH	0.53 ± 0.110		HStD	-0.26 ± 0.039
	HSwD	-0.31 ± 0.059		CmA	-0.21 ± 0.133		HSwD	-0.26 ± 0.049
	HMH	0.21 ± 0.130		SmA	-0.23 ± 0.149		HMH	0.30 ± 0.152
	SmA	-0.32 ± 0.114		TmA	-0.48 ± 0.128		CmA	0.22 ± 0.162
	TmA	-0.42 ± 0.118					SmA	-0.35 ± 0.150
	FMRP	0.32 ± 0.157					TmA	-0.61 ± 0.143
PMA	0.36 ± 0.178			FMRP	0.33 ± 0.202			
CH	FL	0.28 ± 0.060	TD	FL	0.40 ± 0.050	KP	FL	0.30 ± 0.044
	FD	0.29 ± 0.063		FD	0.42 ± 0.052		FD	0.31 ± 0.045
	FStD	0.39 ± 0.080		FStD	0.56 ± 0.047		FStD	0.43 ± 0.042
	FSwD	0.38 ± 0.078		FSwD	0.53 ± 0.049		FSwD	0.42 ± 0.044
	FMH	-0.20 ± 0.067		FMH	-0.46 ± 0.077		FMH	-0.08 ± 0.073
	HL	-0.17 ± 0.013		HL	-0.19 ± 0.020		HL	-0.05 ± 0.017
	HD	0.17 ± 0.013		HD	0.19 ± 0.020		HD	0.05 ± 0.018
	HStD	0.12 ± 0.014		HStD	0.08 ± 0.023		HStD	-0.02 ± 0.018
	HSwD	0.07 ± 0.037		SmA	-0.32 ± 0.141		HSwD	-0.06 ± 0.036
	HMH	0.29 ± 0.138		TmA	-0.47 ± 0.132		HMH	0.36 ± 0.148
	SmA	-0.29 ± 0.137		HmRP	-0.42 ± 0.163		SmA	-0.18 ± 0.162
	TmA	-0.35 ± 0.136					TmA	-0.45 ± 0.148
	FMRP	0.34 ± 0.165					HmRP	-0.43 ± 0.193
PMA	0.45 ± 0.172			FMRP	0.53 ± 0.177			
CL	FL	0.27 ± 0.056	NBP	FL	0.14 ± 0.089	TP	FL	0.16 ± 0.052
	FD	0.29 ± 0.056		FD	0.15 ± 0.089		FD	0.17 ± 0.053
	FStD	0.38 ± 0.054		FStD	0.20 ± 0.088		FStD	0.23 ± 0.052
	FSwD	0.36 ± 0.055		FSwD	0.17 ± 0.089		FSwD	0.21 ± 0.052
	FMH	-0.24 ± 0.071		HL	-0.36 ± 0.150		FMH	-0.23 ± 0.056
	HL	-0.37 ± 0.038		HD	0.35 ± 0.150		HL	0.31 ± 0.039
	HD	0.37 ± 0.039		HMH	0.22 ± 0.174		HD	-0.31 ± 0.039
	HStD	0.11 ± 0.048		TmA	-0.31 ± 0.172		HStD	-0.22 ± 0.041
	HSwD	0.08 ± 0.063		PMA	0.70 ± 0.161		HSwD	-0.28 ± 0.050
	HMH	0.32 ± 0.113					HMH	0.21 ± 0.148
	CmA	-0.12 ± 0.117					SmA	-0.22 ± 0.147
	SmA	-0.34 ± 0.117					TmA	-0.34 ± 0.139
	TmA	-0.39 ± 0.120					PMA	0.70 ± 0.145
HmRP	-0.23 ± 0.136							
FMRP	-0.33 ± 0.143							
PMA	0.48 ± 0.178							
WC	FL	-0.25 ± 0.184	HeL	FL	0.44 ± 0.109	TW	HL	0.57 ± 0.058
	FD	-0.27 ± 0.184		FD	0.46 ± 0.109		HD	-0.57 ± 0.058
	HStD	-0.42 ± 0.180		FStD	0.65 ± 0.094		HStD	-0.27 ± 0.078
	CmA	-0.69 ± 0.145		FSwD	0.61 ± 0.098		HSwD	-0.15 ± 0.100
	HmRP	0.41 ± 0.242		FMH	-0.38 ± 0.141		HMH	0.31 ± 0.174
	FMRP	-0.49 ± 0.224		HMH	0.26 ± 0.119		SmA	-0.34 ± 0.172
	PMA	0.03 ± 0.012		SmA	-0.33 ± 0.122		TmA	-0.50 ± 0.157
		TmA	-0.54 ± 0.115	HmRP	-0.48 ± 0.185			
		FMRP	0.26 ± 0.172	PMA	0.39 ± 0.226			

2009). According to Koenen *et al.* (1995), a long, steep croup shows a very close correlation with trotting characteristics. Guedes (2008) showed that the *croup length* is a trait which correlates very closely with biokinematic variables at trot in Lusitano horses, with an important negative correlation with the *maximum retraction angle of hindlimb* and *maximum protraction angle of hindlimb*. In Pura Raza Español horse, *croup length* is associated with angles and temporal traits at trot. A total of 43.7 % of the genetic correlations obtained for this trait have been negative, mainly with angular traits. Back *et al.* (1996) reported that as this angle was smaller, more of it was tucked under the trunk of the hindlimb, which is conducive to concentration of gait. Clayton (2001) also considered that the pelvis should be nearer to the horizontal in dressage horses. *Croup width* was the lowest correlated trait with biokinematic variables at trot (6: 1 linear, 1 temporal and 4 angular traits).

As regards *withers height*, different results have been shown in previous papers. Some analyses have shown a close correlation between *withers height* and performance or locomotion problems (Magnusson & Thafvelin 1985, Baban *et al.* 2009), whereas Dusek *et al.* (1970) affirmed that *withers height* was not correlated to stride length for different gaits. Galisteo *et al.* (1998) obtained positive correlations between *withers height* and stride length and overtracking; and they also record a moderate influence of *withers height* on angular parameters while trotting, without there being any temporal ones. Our results differ from those of the previous authors, because *withers height* correlated with most of the biokinematic variables (14: 6 temporal, 4 linear and 4 angular variables), including all the temporal and linear ones.

Croup height has similar genetic correlations with the biokinematic variables to *withers height* (same sign and similar values), except for those in the hindlimb (*hindlimb duration* and *length*; *stance* and *swing phase duration*). This could be caused by the close phenotypic correlation between both traits, the highest between all the conformation measurements included in this study (0.80, results not shown). The differences between them are related to the changes in hindlimb function due to changes in the relative measurements and angles (more influenced by *croup height*).

The head and neck determine athletic ability (Lawrence 2001), back movement and stride characteristics at trot, as well as *stride length* (Rhodin *et al.* 2005). In this regard, Holmström *et al.* (2001) suggested that good head-neck and neck-body insertion are more important than neck length for dressage ability. Lawrence (2001) also affirmed that the head-neck connection must be favourable to achieve free movement and flexion. Two conformation variables were analysed to illustrate these two insertions: *head-neck perimeter* and *neck-body perimeter*, both of which are correlated with biokinematic variables at trot (11 and 9 genetic correlations, respectively), ranging between 0.07 and 0.70 (1 correlation equal to or above 0.50, for both traits).

If the neck acts as a lever, *head length* acts as a counterweight. A total of 9 genetic correlations were significant, 3 of them are equal to or over 0.50 in absolute values. The closest correlations were with: *forelimb stance phase duration* (0.65), *forelimb swing phase duration* (0.61) and *minimal angle of tarsus* (-0.54).

Thorax perimeter, *thorax depth* and *chest width* have shown a large number of medium-range genetic correlations with biokinematic variables at trot (13, 11 and 13, respectively), all of which had similar values and signs, except for the hindlimb variables at trot. This could be explained because the horse's forelimbs are attached to the trunk by a strong muscular belt

(no joints) and therefore the impact that traits like trunk width or trunk perimeter can have over the biokinematic traits of the forelimb. Finally, conformation measurements analysed in the limbs, *knee* and *hock perimeter*, correlated with most of the biokinematic variables at trot (15 and 14, respectively). Both of them correlated with all the linear and temporal variables analysed, and some differences were observed in angular traits. Although they have similar signs and values, the very close correlation between *knee perimeter* and *maximal retraction-protraction angle of forelimb* (0.53), and between *hock perimeter* and *minimal angle of tarsus* (-0.61) is remarkable.

In addition to this, *stifle angle* has been considered as an important variable for gait quality. A large opening *stifle angle* causes a significant constriction of the quadriceps in the thigh, which is probably the most overworked muscle in collected gaits. The inability of the quadriceps to support the maximum weight makes the horse shift the burden onto the forelimb, thus altering the balance (Holmström 2001). Magnusson & Thafvelin (1985) found a positive correlation between *stifle angle* and sports results. This could be caused by changes in maximum retraction-protraction range with a more upright pelvis and lower angles of the knee joint (Back *et al.* 1996). In this work, the *stifle angle* correlates negatively with most of the analysed traits, except *croup width*, *neck-body perimeter* and *chest width*.

The analysis of body measurements allows us to describe an animal or breed's conformation and to detect conformation traits that identify locomotion quality. Barrey *et al.* (2002) affirmed that, although conformation by itself can not explain the ability for dressage performance, differences in conformation can be responsible for some locomotion characteristics. The importance of the locomotor pattern is related to the fact that for each type of exercise, the horse uses a specific type of locomotion, where its individual characteristics determine the level of performance it can achieve (Leleu *et al.* 2005).

The factor analysis for the 13 body measurements and the 16 biokinematic variables at trot (Figure 2) showed that Factor 1 separates durations and limb length from the others. It also separates *minimal retraction-protraction angle of the hindlimb* and *maximal retraction-protraction angle of the forelimb*, whereas Factor 2 separates the temporal and linear variables (including the conformation measurements) from the other traits.

Temporal and linear traits were related between them (Factors 1 and 2), and with the conformation traits analysed (Factor 2), whereas angular traits measured in the distal area of the limbs were not related with conformation measurements (Factor 2). Therefore, the factorial analysis indicated that the length of body regions influence linear and temporal parameters for trotting more than angular parameters in the Pura Raza Español horses.

In conclusion, most of the analysed body measurements are genetically correlated with some biokinematic variables at trot. Therefore, their inclusion in the breeding programme of a breed, such as the Pura Raza Español horse, is recommended. This ensures the implementation of an indirect and precocious selection of the animals based on the objective conformation measurements proposed in this study, thus producing a suitable response. According to our results, the relationships of conformation traits between each other and with biokinematic variables while trotting show that it is important to study *withers height*, *croup length*, *croup width*, *knee perimeter*, *hock perimeter* and *thorax perimeter* in order to make an indirect and precocious selection of gait quality in Pura Raza Español horses. These could be included directly or combined in body indices.

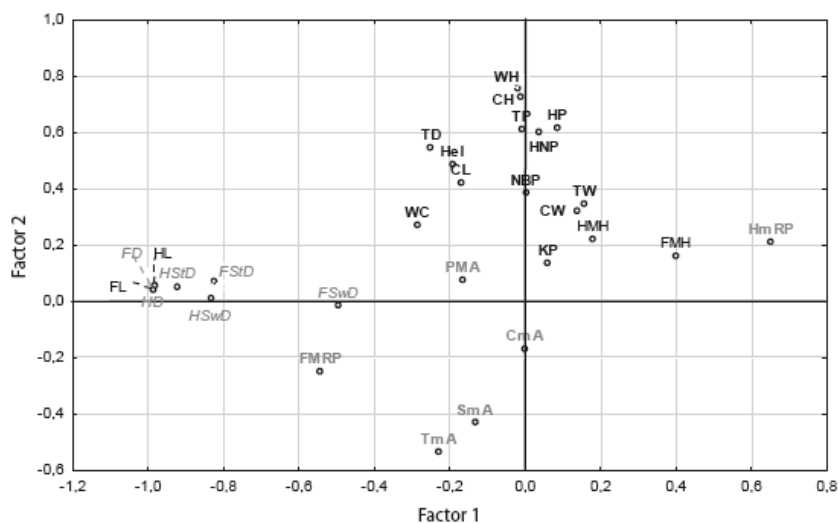
146 Sánchez *et al.*: Relationship between conformation traits and gait characteristics in Pura Raza Español horses


Figure 2
Factor loadings for 29 selected variables (13 body measurements and 16 variables biokinematic at trot) analysed in 130 Pura Raza Español horses

References

- Baban M, Curik I, Antunovic B, Cacic M, Korabi N, Mijic P (2009) Phenotypic Correlations of Stride Traits and Body Measurements in Lipizzaner Stallions and Mares. *J Equine Vet Sci* 29, 513-518
- Back W, Schamhardt HC, Barneveld A (1996) The influence of conformation on fore and hind limb kinematics of the trotting Dutch Warmblood horse. *Pferdeheilkunde* 12, 647-650
- Bakhtiari J, Heshmat G (2009) Estimation of genetic parameters of conformation traits in Iranian Thoroughbred horses. *Livest Sci* 123, 116-120
- Barrey E, Desliens F, Poirel D, Biau S, Lemaire S, Rivero JLL, Langlois B (2002) Early evaluation of dressage ability in different breeds. *Equine Vet J* 34 (Suppl.), 316-324
- Barrey E, Valette JP, Jouglin M, Blouin C, Langlois B (1999) Heritability of percentage of fast myosin heavy chains in skeletal muscles and relationship with performance. *Equine Vet J* 30 (Suppl.), 289-292
- Belloy E, Bathe AP (1996) The importance of standardising the evaluation of conformation in the horse. *Equine Vet J* 28, 429-430
- Borowska A, Wolc A, Szwaczkowski T (2011) Genetic variability of traits recorded during 100-day stationary performance test and inbreeding level in Polish warmblood stallions. *Arch Tierz* 54, 327-337
- Cervantes I, Baumung R, Molina A, Druml T, Gutiérrez JP, Sölkner J, Valera M (2009) Size and shape analysis of morphofunctional traits in the Spanish Arab horse. *Livest Sci* 125, 43-49
- Clayton HM (2001) Performance in equestrian sports. In: Back W, Clayton H, (eds) *Equine Locomotion*. London, UK, 193-226
- Drevemo S, Fredricson I, Dalin G, Björne K (1980) Equine locomotion: 2. The analysis of coordination between limbs of trotting Standardbreds. *Equine Vet J* 12, 66-70
- Ducro BJ, Koenen EPC, van Tartwijk JMFM, van Arendonk JAM (2007) Genetic relations of First Stallion Inspection traits with dressage and show-jumping performance in competition of Dutch Warmblood horses. *Livest Sci* 107, 81-85

- Dusek J, Ehrlein HJ, von Engelhardt W, Hörnicke H (1970) Relationships between length of steps, frequency of steps and speed of horses. *J Anim Breed Genet* 87, 177-188 [in German]
- Galisteo AM, Cano MR, Morales JL, Vivo J, Miró F (1998) The influence of speed and height at the withers in the kinematics of sound horses at the hand-led trot. *Vet Res Commun* 22, 415-423
- Giulotto E (2001) Will horse genetics create better champions? *TIG* 17, 166
- Gómez MD, Valera M, Molina A, Gutiérrez JP, Goyache F (2009) Assessment of inbreeding depression for body measurements in Spanish Purebred (Andalusian) horses. *Livest Sci* 122, 149-155
- Górecka A, Śloniewski K, Golonka M, Jaworski Z, Jezierski T (2006) Heritability of hair whorl position on the forehead in Konik horses. *J Anim Breed Genet* 123, 396-398
- Groeneveld E, Kovac M, Mielenz N (2010) VCE User's Guide and Reference Manual Version 6.0. FLI, Neustadt, Germany
- Halo M, Mlynek J, Strapák P, Massányi P (2008) Genetic efficiency parameters of Slovak warm-blood horses. *Arch Tierz* 51, 5-15
- Holmström M, Fredricson I, Drevemo S (1994) Biokinematic differences between riding horses judged as good and poor at the trot. *Equine Vet J* 17, 51-60
- Holmström M (2001) The effects of conformation. In: Back W, Clayton HM (eds) *Equine Locomotion*. WB Saunders, London, UK, 281-295
- Jakubec V, Vostry L, Schlote W, Majzlik I, Mach K (2009) Selection in the genetic resource: genetic variation of the linear described type traits in the Old Kladrub horse. *Arch Tierz* 52, 343-355
- Knopfhart A (1996) *Dressage: A Guidebook for the Road to Success* (Masters of Horsemanship Series, Book 1), Half Hart Press, Boonsboro, USA
- Koenen EPC, van Veldhuizen AE, Brascamp EW (1995) Genetic parameters of linear scored conformation traits and their relation to dressage and show-jumping performance in the Dutch Warmblood Riding Horse population. *Livest Prod Sci* 43, 85-94
- Koenen EPC, Aldridge LI, Philipsson J (2004) An overview of breeding objectives for warmblood sport horses. *Livest Prod Sci* 88, 77-84
- Lawrence LA (2001) *Horse conformation analysis*. Cooperative Extension Paper, Washington State University, USA
- Leleu C, Cotrel C, Barrey E (2005) Relationships between biomechanical variables and race performance in French Standardbred trotters. *Livest Prod Sci* 92, 39-46
- Magnusson LE, Thafvelin B (1985) *Studies on the conformation and related traits of Standardbred trotters in Sweden. IV. Relationship between conformation and performance in 4-year old Standardbred trotters*. Thesis. Swedish University of Agricultural Science, Skara.
- Molina A, Valera M, Dos Santos R, Rodero A (1999) Genetic parameters of morphofunctional traits in Andalusian horse. *Livest Sci* 60, 295-303
- Moore, J (2010) *General Biomechanics: The Horse As a Biological Machine*. *J Equine Vet Sci* 30, 379-383
- Posta J, Komlósi I, Mihók S (2007) Principal component analysis of performance test traits in Hungarian Sporthorse mares. *Arch Tierz* 50, 125-135
- Rhodin M, Johnston C, Roethlisberger Holm K, Wennerstrand J, Drevemo S (2005) The influence of head and neck position on kinematics of the back in riding horses at the walk and trot. *Equine Vet J* 37, 7-11
- Rivero JLL, Barrey E (2001) Heritabilities and genetic and phenotypic parameters for gluteus medius muscle fibre type composition, fibre size and capillaries in purebred Spanish horses. *Livest Prod Sci* 72, 233-241
- Rivero JLL, Valera M, Serrano A, Vinuesa M (1996) Variability of muscle fibre type composition in a number of genealogical bloodlines in Arabian and Andalusian horses. *Pferdeheilkunde* 12, 661-665
- Rustin M, Janssens S, Buys N, Gengler N (2009) Multi-trait animal model estimation of genetic parameters for linear type and gait traits in the Belgian warmblood horse. *J Anim Breed Genet* 126, 378-386
- Santos, R I D G (2008) *Genetic characterization of the Sports performance in Purebred Lusitano horse through trotting biokinematic traits*. PhD-thesis. University of Cordoba, Spain

148 Sánchez *et al.*: Relationship between conformation traits and gait characteristics in Pura Raza Español horses

Schröder W, Stock KF, Distl O (2010) Genetic evaluation of Hanoverian warmblood horses for conformation traits considering the proportion of genes of foreign breeds. *Arch Tierz* 53, 377-387

Schroderus E, Ojala M (2010) Estimates of genetic parameters for conformation measures and scores in Finnhorse and Standardbred foals. *J Anim Breed Genet* 127, 395-403

Valera M, Bartolomé E, Cervantes I, Gómez MD, Azor PJ, Molina A (2009) Horse Breeding Programs in Spain Managed by MERAGEM Group. MERAGEM Research Group, CD-ROM

Valera M, Galisteo AM, Molina A, Miró F, Gómez MD, Cano MR, Agüera E (2008) Genetic parameters of biokinematic variables of the trot in Spanish Purebred horses under experimental treadmill conditions. *Vet J* 178, 219-226

Zechner P, Zohman F, Sölkner J, Bodo I, Habe F, Marti E, Brem G (2001) Morphological description of the Lipizzan horse population. *Livest Prod Sci* 69, 163-177

3.4.2 ARTÍCULO 6 (CAPÍTULO IV). DESIGN AN INDEX MULTITRAIT EARLY SELECTION FOR DRESSAGE IN HORSE PURA RAZA ESPAÑOL FROM MORPHOLOGICAL LINEAR TRAITS

Título: Diseño de un índice multi-rasgo de selección temprana para la Doma Clásica de caballos de Pura Raza Española a través de rasgos morfológicos lineales.

Autores: **Sánchez, M.J.**¹, Molina, A.², Cervantes, I.³, Gutiérrez, J.P.², and Valera, M.¹

Afiliación:

¹Departamento de Ciencias Agro-Forestales, Universidad de Sevilla, Ctra. Utrera km 1, 41013-Sevilla, España.

²Departamento de Genética, Universidad de Córdoba, Ctra. Madrid-Cádiz Km.396^a, 14071-Córdoba, España.

³Departamento de Producción Animal. Universidad Complutense, Madrid, Avda. Puerta de Hierro s/n, 28040 Madrid, España.

Revista: **Journal of Animal Science (sometido)**

Índice de Impacto 2,108 (Journal Citation Report, 2014).

Área y cuartil: "Agriculture, Dairy of Animal Science", 1º cuartil (5/57)

Journal of Animal Science

**Designing an early selection morphological linear traits index for dressage in the Pura Raza Español horse**

Journal:	<i>Journal of Animal Science</i>
Manuscript ID:	Draft
Manuscript Type:	Animal Genetics
Date Submitted by the Author:	n/a
Complete List of Authors:	Sánchez, Maria Cervantes, Isabel Molina, Antonio; Córdoba University, Genetic Gutiérrez, Juan Pablo; Universidad Complutense de Madrid, Dpto. de Producción Animal Valera, Mercedes; EUITA (University of Seville), Agroforest Sciences; University of Córdoba, Genetic
Key Words:	Andalusian horse, conformation, equine, genetic evaluation, linear scoring system

SCHOLARONE™
Manuscripts

ScholarOne, 375 Greenbrier Drive, Charlottesville, VA, 22901

1 Running head: Morphological index for dressage in the PRE.

2

3 Designing an early selection morphological linear traits index for dressage in the Pura Raza

4 Español horse.

5 M.J. Sánchez-Guerrero^{†*}; I. Cervantes[§]; A. Molina[‡]; J.P. Gutiérrez[§]; M. Valera[†].

6

7 [†]Departamento de Ciencias Agro-Forestales, Universidad de Sevilla, Ctra. Utrera km 1,

8 41013-Sevilla, Spain.

9 [§]Departamento de Producción Animal. Universidad Complutense de Madrid, Avda. Puerta de

10 Hierro s/n, 28040 Madrid, Spain.

11 [‡]Departamento de Genética, Universidad de Córdoba, Ctra. Madrid-Cádiz Km.396^a, 14071-

12 Córdoba, Spain.

13

14

15

16

17

18 *Corresponding author: María José Sánchez Guerrero

19 Email address: v32sagum@gmail.com Phone: +34 954 487748 Fax: +34 954 486436

20

21 Acknowledgements

22 The authors wish to thank the Asociación Nacional de Criadores de Caballos de Pura Raza Española (ANCCE) for making available the data

23 used in this research.

24

25 **Abstract**

26 Making a morphological pre-selection of Pura Raza Español horses (PRE) for dressage is a
27 challenging task within its current breeding program. The aim of our research was to design a
28 genetic selection index to improve dressage performance, using 26 morphological linear traits
29 (LT) and 6 dressage traits (DT: walk, trot, canter, submission, general impression -PS- and
30 total score -TS-) as selection criteria. The dataset included LT of 10,127 PRE and 19,095 DT
31 of 1,545 PRE. A univariate animal model was applied to predict the breeding values (PBV).
32 A PLS regression analysis was used to select the most predictive LT PBV on the DT PBV.
33 According to the Wold Criterion, the 13 LT (upper neck line; neck-body junction; width of
34 chest angle of shoulder; frontal angle of knee; cannon bone perimeter; length of croup; angle
35 of croup; ischium-stifle distance and lateral hock angle) most closely related to TS, PS and
36 gait scores (GS: walk, trot and canter) were selected. A multivariate genetic analysis was
37 performed among the 13 LT selected and the 6 DT. Selection index theory was used to
38 compute the expected genetic response using different strategies. The expected genetic
39 response of TS (0.76), PS (0.04) and GS (0.03) as selection objectives were positive using
40 LT, but lower than that obtained using DT (1.80, 0.16 and 0.14) or DT + LT (2.97, 0.16 and
41 0.15 for TS, PS and GS) as criteria selection. This suggests that it is possible to preselect the
42 PRE without DT PBV using the LT, but the expected genetic response will be lower.

43 **Keywords:** Andalusian horse, conformation, equine, genetic evaluation, linear scoring
44 system.

45

46 Introduction

47 Selecting animals with conformation characteristics which make them excel in sport
48 performance is a major aim of horse breeding programs for the different functional traits
49 (Belloy and Bathe, 1996). In the Pura Raza Español horses (PRE) breeding program, there is
50 an increased interest for horses which demonstrate high performance in sport competitions,
51 especially dressage. Consequently, PRE with superior dressage performances have a greater
52 economic value than other horses. The main goal of the PRE breeding program is to improve
53 not only the functionality of PRE but also its conformation for sport performance. To
54 accomplish these objectives and obtain data for the genetic evaluations, the PRE were tested
55 in morphological and performance tests. So, a linear assessment methodology was developed
56 and 26 morphological linear traits (LT) have been collected in a systematic way since 2008.
57 Every year, around 2,000 PRE horses participate in this morphological test. Besides, young
58 horses (4-6 years old) have been tested for dressage traits (DT) since 2004 as part of the PRE
59 breeding program in Spain (around 200 PRE take part each year in this performance test).
60 The high number of PRE with records in morphological tests compared to the low number of
61 participants in dressage could enable us to make a suitable selection by means of LT. The
62 selection of those horses which display adequate morphological qualities for dressage
63 performance would benefit the genetic progress and, therefore it would be possible to screen
64 the animals before undergoing training for dressage.

65 Therefore, the main objective of this work was to study the relationship between linear
66 morphological traits breeding values and dressage performance breeding values as a basis for
67 designing an early selection index to improve dressage performance, using only
68 morphological linear traits or both dressage and morphological traits together as pre-selection
69 criteria.

70 Materials and Methods

71 Dataset

72 The dressage dataset included a total of 19,095 phenotypic performance records (walk, trot,
73 canter, submission, general impression and total scores) of 1,545 PRE (1,476 males and 69
74 females; 12.4 record of average) collected between 2004 and 2014 at 469 official dressage
75 tests of young PRE (4-6 years) in Spain. These horses belonged to a total of 572 studs. In
76 these events, the dressage discipline included two dressage tests, which consisted of an
77 exercise where different partial scores (PS) for DT (walk, trot, canter, submission and general
78 impression) and the total score (TS) were collected. They were evaluated by 3 judges with a
79 score ranging from 1 to 10 according to each of the categories:

- 80 • Walk: Rhythm, relaxation, activity, ground cover.
- 81 • Trot: Rhythm, suppleness, elasticity, impulsion, swinging back, ground cover, ability
82 to collect
- 83 • Canter: Rhythm, suppleness, elasticity, natural balance, impulsion, ground cover,
84 uphill tendency.
- 85 • Submission: Contact, straightness, obedience, including flying changes, shoulder-in
86 and half pass
- 87 • General impression: Potential as a dressage horse, standard of training (on the basis of
88 the "training scale") according to its age.
- 89 • Total Score: Averaged and rescaled to a total score of 1 to 100 points of the 5 PS.

90 The morphological dataset included morphological linear evaluations from a total of 10,127
91 horses (4,159 males and 5,968 females) collected between 2008 and 2013 (1 record per
92 horse). There were 687 PRE with DT and LT. In each morphological linear record, a total of
93 26 different LT were evaluated, 20 of which were primary traits (directly related with body
94 measurements) and 11 of which were secondary traits (not related with objective
95 measurements). The linear assessment was carried out by appraisers, using a structured score

96 sheet with a scale of 9 categories, in which the extremes represented the biological extremes
 97 for each trait (Sánchez et al., 2013). These appraisers had been previously trained and tested
 98 in order to select those horses which provided the most accurate ratings in the practical tests
 99 (Sánchez et al., 2013).

100 Statistical and Genetic Analysis

101 All traits (morphological and performance ones) were first investigated by univariate
 102 analyses, to obtain preliminary estimates of variance components and predicted breeding
 103 values for all the animals in the pedigree, using two univariate animal models: a
 104 morphological model described in Sánchez et al. (2013) for LT and a dressage model
 105 described in Sánchez et al. (2014) for DT.

106 The morphologically-fitted model included the following systematic effects: age (8
 107 classes: 3,4,5,6,7,8,9,>10 years old); sex (male or female); the geographic region (1, ... , 49)
 108 and the combination of appraiser*event (1, ..., 461).

109 The equation in matrix notation for the morphological model was, $y = \mathbf{Xb} + \mathbf{Zu} + \mathbf{e}$, and
 110 contained:

$$111 \begin{pmatrix} \mathbf{u} \\ \mathbf{e} \end{pmatrix} \sim N \left(\begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \mathbf{A}\sigma_u^2 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I}\sigma_e^2 \end{bmatrix} \right)$$

112 where y is the vector of observations, \mathbf{X} the incidence matrix of systematic effects, \mathbf{Z} the
 113 incidence matrix of animal genetic effects, \mathbf{b} the vector of systematic effects, \mathbf{u} the vector of
 114 direct animal genetic effects, \mathbf{e} the vector of residuals, σ_u^2 the direct genetic variance, σ_e^2 the
 115 residual variance, \mathbf{I} an identity matrix, and \mathbf{A} the numerator relationship matrix.

116 The dressage-fitted model included the following systematic effects: age (4, 5 and 6 years
 117 old); sex (male or female); stud of birth (1, ..., 572) and the event (1 = 1, ..., 469).

118 The equation in matrix notation for the dressage model was, $y = \mathbf{Xb} + \mathbf{Zu} + \mathbf{Wp} + \mathbf{Qr} + \mathbf{Nm} + \mathbf{e}$,
 119 and contained:

$$\begin{matrix}
 \mathbf{u} \\
 \mathbf{p} \\
 \mathbf{r} \\
 \mathbf{m} \\
 \mathbf{e}
 \end{matrix}
 \sim N \left(\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \mathbf{A}\sigma_u^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{I}\sigma_p^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{I}\sigma_r^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mathbf{I}\sigma_m^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mathbf{I}\sigma_e^2 \end{bmatrix} \right)$$

121 where \mathbf{y} is the vector of observations, \mathbf{X} the incidence matrix of systematic effects, \mathbf{Z} the
 122 incidence matrix of animal genetic effects, \mathbf{W} the incidence matrix of permanent environmental
 123 effects, \mathbf{Q} the incidence matrix of the rider effect, \mathbf{N} the incidence matrix of match effects, \mathbf{b} the
 124 vector of systematic effects, \mathbf{u} the vector of direct animal genetic effects, \mathbf{p} the vector of
 125 permanent environmental effects, \mathbf{r} the vector of rider effects (1,..., 739); \mathbf{m} the vector of match
 126 effects (1, ..., 2,089), \mathbf{e} the vector of residuals, σ_u^2 the direct genetic variance, σ_p^2 the permanent
 127 environmental variance, σ_r^2 the rider variance, σ_m^2 the match variance, σ_e^2 the residual variance,
 128 \mathbf{I} an identity matrix, and \mathbf{A} the numerator relationship matrix.

129 Pedigree information for genetic evaluation was collected from the PRE official stud-book.
 130 At least four generations of all the horses were included in the pedigree file, making a total of
 131 37,231 animals.

132 Selection of the morphological linear traits

133 The selection of the LT most closely related with DT was performed using the predicted
 134 breeding value of the 37,231 PRE horses. A partial least square procedure (PLS) using the
 135 reduced rank regression factorial extraction method (RRR) was implemented to investigate
 136 the relationship between dressage traits predicted breeding values (PBV) as dependent
 137 variables and the morphological linear trait estimated breeding value as model effects. It was
 138 conducted 3 times: first, using TS as the dependent variable; secondly, using PS and third
 139 using individual gait score (GS, walk, trot and canter). PLS is a statistical method related to
 140 principal components and multiple regression techniques. Unlike the main components,
 141 partial least squares select factors of the predictors and of the responses that have maximum

142 covariance, whereas principal components regression effectively selects for maximum
143 variance, subject to orthogonal constraints. In contrast, reduced rank regression selects for as
144 much variation in the predicted responses as possible, effectively ignoring the predictors for
145 the purposes of factor extraction. In reduced rank regression, the Y-weights are the
146 eigenvectors of the covariance matrix of the responses predicted by ordinary least squares
147 regression, and the X-scores are the projections of the Y-scores onto the X space (this
148 technique is also called projection to latent structures). PLS works by extracting one factor at
149 a time, be it the centered and scaled matrix of predictors or the centered and scaled matrix of
150 response values. The PLS method starts with a linear combination of the predictors, which is
151 called a score vector, with its associated weight vector. The specific linear combination is the
152 one that has maximum covariance with some response linear combination (Wold, 1994).

153 It is especially appropriate when the independent variables (repressors) are measured with
154 error (i.e. they are not considered fixed) and correlations or colinearity exists among them.
155 For trait selection, the Wold Criterion (Wold, 1994) was used, which considers a value for the
156 Variable Importance for Projection statistic (VIP) less than 1 to be "small". VIP summarizes
157 the contribution a variable makes to the model. If a predictor has a relatively small coefficient
158 (in absolute value) and a small VIP value, then it is a prime candidate for deletion.

159 The LT with the strongest associations according to the Wold criterion (Wold, 1994) were
160 therefore selected. Afterwards, to guarantee that the genetic and phenotypic correlations were
161 consistent, i.e. to ensure that their covariance matrix was positive and semi-definite, a
162 multivariate analysis including all the LT selected by the PLS procedure and the 6 DT was
163 also carried out. All the analyses were performed using SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC) and
164 VCE v. 6.0.2 software (Groeneveld et al., 2010).

165 **Selection indices**

166 Classical selection indices theory (Hazel and Lush, 1943) and its reformulation for use of
 167 PBV (Gutiérrez et al., 2014) was used. According to this theory, selection should be carried
 168 by choosing as parents those individuals with the highest predictors of the aggregate
 169 genotype H , defined as a linear combination of the traits to be modified by selection, which
 170 are assessed for their relative economic value p_k so that: $H = \mathbf{p}'\mathbf{u} = p_1u_1 + p_2u_2 + \dots + p_nu_n$,
 171 where \mathbf{u} represents the additive genetic values for each trait. In this expression, the relative
 172 economic value theoretically describes the financial gain obtained when increasing the
 173 corresponding trait by one. The predictor of H for each individual, \hat{H}_k , can be obtained as
 174 follows:

175 $\hat{H}_k = \mathbf{p}'\hat{\mathbf{u}} = p_1\hat{u}_1 + p_2\hat{u}_2 + \dots + p_n\hat{u}_n = \mathbf{p}'\mathbf{C}'\mathbf{V}^{-1}\mathbf{y} = \mathbf{b}'\mathbf{y} = b_1y_1 + b_2y_2 + \dots + b_my_m$, where $\hat{\mathbf{u}}$ is the
 176 vector of the predicted breeding values; \mathbf{y} is the vector of the phenotypes for each trait; \mathbf{C} is
 177 the covariance matrix between \mathbf{y} and \mathbf{u} vectors, $\mathbf{C} = \text{Cov}(\mathbf{y}, \mathbf{u})$; \mathbf{V} is the (co)variance
 178 phenotypic matrix of the traits used as selection criteria, $\mathbf{V} = \text{Var}(\mathbf{y})$, given \mathbf{C} and \mathbf{V} known.
 179 Breeding values were used as independent variables in this work. Then then $\mathbf{V} = \mathbf{G} = \text{Var}(\mathbf{u})$.

180 We developed three groups of indices: the first (Type 1), based only on the dressage PBV as
 181 selection criteria, the second (Type 2), using only the morphological linear PBV as selection
 182 criteria and the third (Type 3), combining dressage and the morphological linear PBV as
 183 selection criteria. The selection objective traits were the estimated breeding values of Total
 184 Score (TS), Partial Scores (PS) and Gait Score (GS), and so 9 different genetic indices were
 185 designed.

186 *Computation of \mathbf{b} : weights to be used.*

187 Weights \mathbf{b} , to be used for weighting the genotypes on \mathbf{u} , can attained by $\mathbf{b}' = \mathbf{p}'\mathbf{C}'\mathbf{G}^{-1}$. In all
 188 indices, the traits included in the objectives were equally weighted in \mathbf{p}' . Matrices \mathbf{C}' and \mathbf{G}
 189 were obtained from the genetic parameters by assuming all the additive genetic variances to

190 be the unity and therefore using for all of them the same, identical genetic scale
 191 ($\sigma_{u_1}^2 = \sigma_{u_2}^2 = \sigma_{u_3}^2 \dots = \sigma_{u_n}^2 = 1$), where $\sigma_{u_k}^2$ is the additive genetic variance of trait k . When
 192 objective and criteria are the same traits, and under the usual assumption of null covariance
 193 between additive genetic effects and any other additive component of phenotypes, a
 194 covariance between a phenotype and its additive genetic effect is reduced to its additive
 195 genetic variance, and **C** becomes a genetic additive (co)variance matrix in which the
 196 diagonals are equal to one (Gutiérrez et al., 2014). Off-diagonal elements are the genetic
 197 correlations between objectives and criteria, given that $r_{u_k u_l} = \frac{\sigma_{u_k u_l}}{\sqrt{\sigma_{u_k}^2 \sigma_{u_l}^2}}$, where $r_{u_k u_l}$ is the
 198 genetic correlation between the k and l traits and $\sigma_{u_k}^2 = 1$ for any trait, thus becoming
 199 $\sigma_{u_k u_l} = r_{u_k u_l}$ and **C'**:

$$200 \quad \mathbf{C}' = \text{Var}(\mathbf{u}) = \begin{bmatrix} \sigma_{u_1}^2 & \sigma_{u_1 u_2} & \sigma_{u_1 u_3} & \dots & \sigma_{u_1 u_m} \\ \sigma_{u_2 u_1} & \sigma_{u_2}^2 & \sigma_{u_2 u_3} & \dots & \sigma_{u_2 u_m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sigma_{u_m u_1} & \sigma_{u_m u_2} & \sigma_{u_m u_3} & \dots & \sigma_{u_m}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & r_{u_1 u_2} & r_{u_1 u_3} & \dots & r_{u_1 u_m} \\ r_{u_2 u_1} & 1 & r_{u_2 u_3} & \dots & r_{u_2 u_m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{u_m u_1} & r_{u_m u_2} & r_{u_m u_3} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

201 As **G** and **C'** are directly dependent on the genetic parameters, these matrices can be derived
 202 directly from genetic parameters to build the desired index.

203 When the criteria are not the same, then the objectives **C'** matrix is not square, and each
 204 element is the genetic correlation between two traits.

205 **Expected Genetic Responses**

206 In order to compare the genetic index, the genetic responses for each one have been obtained
 207 by weighting, for each of the traits, all those responses obtained in the correlated selected
 208 traits including their own direct genetic self-response. Thus, assuming the breeding values are
 209 not known for certain, and under the assumption stated above about all the additive genetic
 210 variances being one, the direct genetic response would be the selection intensity (i) reduced

211 by the accuracy of the PBV. The correlated response would be the genetic correlation times
 212 the selection intensity reduced by the accuracy of the PBV. Assuming that all individuals
 213 have the same amount of information, this accuracy is proportional to the square root of
 214 heritability of the trait used as a criterion. Gathering this information into a matrix, the
 215 cumulated genetic responses will be obtained by:

$$216 \quad \mathbf{t} = \mathbf{b}'\mathbf{T}\mathbf{i} = \mathbf{b}' \begin{bmatrix} h_1 & h_1r_{u,u_2} & h_1r_{u,u_3} & \dots & h_1r_{u,u_k} \\ h_2r_{u,u_1} & h_2 & h_2r_{u,u_3} & \dots & h_2r_{u,u_k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_kr_{u,u_1} & h_kr_{u,u_2} & h_kr_{u,u_3} & \dots & h_k \end{bmatrix} \mathbf{i}$$

217 where each $\sum_j t_{jk}$ is the cumulated genetic response in the trait k . Therefore, genetic
 218 responses \mathbf{t} were obtained for each and all the traits when selection was based on indices that
 219 weighted the breeding values for the traits of interest.

220 When the criteria are not the same, then objectives \mathbf{T} matrix is not square but each element t_{jk}
 221 is the genetic correlation between traits j and k .

222 For the comparison of computed responses, a selection intensity of one was assumed since
 223 this will be a constant, leading to comparable relative results. When there were three or five
 224 objectives in the same indices, the global genetic expected response was calculated as the
 225 average of all them.

226 Results

227 Phenotypic Scores

228 The descriptive statistic on the 26 LT and the 6 DT analyzed in the PRE population is shown
 229 in Table 1. Most of the 26 LT had a mean close to 5 in the assessed population, although
 230 some traits had a mean ranging from 3.5 (width of head) to 7.1 (width of chest) for the
 231 primary traits, and from 4.1 (hock from rear) to 5.3 (frontal angle of knee) for the secondary
 232 ones. The mode parameter showed that the most common class used in this population ranged

233 from 3 to 7 in primary traits and from 4 to 7 in secondary ones, with all the traits very close to
234 the arithmetic average. In general, the coefficients of variation were high in this study,
235 ranging from 17.5% (length of croup) to 51.7% (angle of croup) for primary traits, and from
236 14.8% (lateral angle of knee) to 27.2% (neck-body junction) for the secondary ones. In
237 general, therefore, there was an important phenotypic variation for the analyzed traits in this
238 population.

239 All the DT had a mean close to 6.5 and ranged between 2 and 9.2. The mode was 6.5 for
240 walk, trot, canter, submission and general impression and consequently 65.0 for global
241 dressage score. The coefficients of variation were always lower than 9.4.

242 **Selection of morphological linear traits**

243 The morphological linear PBV were chosen according to the partial least square procedure
244 (Table 2) and the Wold Criterion. For the estimated breeding values of TS, the morphological
245 linear PBV selected were as follows: upper neck line; neck-body junction; width of chest
246 angle of shoulder; frontal angle of knee; cannon bone perimeter; length of croup; angle of
247 croup; ischium-stifle distance and lateral hock angle. For the PS, the morphological linear
248 PBV selected were as follows: width of head; head-neck junction; upper neck line; neck-body
249 junction; lateral angle of knee; frontal angle of knee; ischium-stifle distance and lateral hock
250 angle; and finally, for GS, the same morphological linear PBV were chosen, except for neck-
251 body junction.

252 **Genetic parameters of the selected traits**

253 The heritability values (Table 3) estimated through the multivariate analysis of the 13 LT +6
254 DT ranged from 0.12 (ischium-stifle distance) to 0.45 (head-neck junction). The heritability
255 of the dressage traits ranged from 0.21 (walk) to 0.33 (canter). The genetic correlations in
256 absolute value among the LT ranged between 0 (neck-body junction- ischium-stifle distance)
257 and -0.62 (length of croup - lateral hock angle). The genetic correlations among the DT in

258 absolute value ranged between 0.59 (walk - trot) and 1 (general impression – total score). The
259 genetic correlations between the LT and DT in absolute value ranged between 0 (walk and
260 width of head) and 0.46 (canter – angle of shoulder).

261 **Selection Indices and Expected Genetic Responses**

262 The expected genetic response for the Total Score, Partial Score and Gait Score indices based
263 on earlier selection for morphology was assessed (Table 4), considering three index groups;
264 the first (Type 1), based only on dressage PBV as selection criteria, the second (Type 2),
265 using only the morphological linear PBV as selection criteria and the third (Type 3),
266 combining dressage and the morphological linear PBV as selection criteria. When the TS, PS
267 or GA were considered as dependent variables, the maximum expected genetic response was
268 achieved by Types 1 (1.80, 0.16 and 0.14 respectively) and 3 (average of 2.97, 0.16 and 0.15,
269 respectively). When only LT were used as criteria (Type 2), a positive response was obtained
270 for all (an average of 0.76, 0.04 and 0.03 to TS, PS or GA), but this was approximately 25%
271 of the others. When the PS were analyzed in detail, all the traits (walk, trot, canter,
272 submission and general impression) followed similar patterns. The response was almost the
273 same in the indices Type 1 and 3 (0.12/0.13, 0.15/0.16, 0.17/0.18, 0.18/0.18 and 0.17/0.17
274 respectively for all analyzed traits) and lower than those in the indices of Type 2 (0.04, 0.04,
275 0.03, 0.04 and 0.04), with the small exception of the walk, where the percentage rose to
276 nearly one third. Studying the indices which use GS as objective selection in detail, the result
277 was similar to that described above, but the walk response rate of index Type 2 over Type 1
278 reached 40% (40%, 20% and 18.8% for walk, trot and canter, respectively).

279 **Discussion**

280 Whatever purpose horses are used for, the objective evaluation of conformation and its
281 relation to high sport performance is of great importance (Moore, 2010). There is therefore
282 growing interest in the selection of PRE horses suitable for sport competitions, especially

283 dressage, the main sports breeding goal for PRE. Currently, the main selection criteria for the
284 functionality in PRE are the dressage scores collected at the dressage test. The DT is scored
285 by judges from 0 to 10, with 0 the lowest when none of the required movements have been
286 performed and 10 is the highest score for an excellent movement. Until now, the full range
287 for these dressage scores was never used in any of the DT collected (11,442 records until
288 now).

289 To obtain a good selection response for dressage, it is critical to have suitable heritability.
290 The estimated heritability of the dressage traits ranged from 0.21 (walk) to 0.33 (canter). The
291 heritabilities estimated for the gaits found in the recent literature range from 0.08 to 0.38 for
292 walk, 0.16 to 0.50 for trot, 0.25 to 0.48 for canter and 0.18 to 0.32 for TS (Ducro et al., 2007;
293 Posta et al., 2010; Schroderus and Ojala, 2010; Becker et al., 2011; Viklund et al., 2011;
294 Becker et al., 2012; Vicente et al., 2014), so they were consistent with our results. Previous
295 references to the heritability for submission and general impression have not been found. The
296 estimated heritabilities were therefore considered suitable for genetic evaluations and
297 selection for these performance traits.

298 However, the basis of selection for this discipline is still very small, as there are very few
299 young horses taking performance tests due to the high cost that this entails for the breeder.
300 On the other hand, almost all PRE pass a basic morphological test, which is mandatory if a
301 breeder wants to breed with this horse and costs relatively little. The standard procedures in
302 Spanish horse breeding programs, until now, have used only the dressage PBV to choose the
303 best candidates for reproduction and apply the genetic categories of functionally improved
304 breeder. So, success in genetic improvement of dressage ability in horses through dressage
305 criteria selection is at present extremely inefficient because most young PRE do not
306 participate in dressage competitions, since it takes much effort and money to achieve
307 satisfactory results. In the ideal situation, the breeding goal would consist of a single criterion

308 that facilitates the ranking of animals in line with this goal, but with only 155 new PRE a year
309 evaluated in dressage, this is not a realistic scenario. A large number of young animals with
310 good genetics for dressage and with a cheaper service (Mantovani et al., 2013) are never
311 evaluated in the performance test, so their potential remains undetected, thus compromising
312 the effectiveness of the PRE selection scheme. However, breeding programs should look
313 ahead to the future, and it would be a positive breakthrough if we could carry out breed
314 improvements in the near future with other variables which are currently collected in most
315 foals. Thus, this situation offers an ideal scenario to provide alternative selection strategies
316 allowing us to improve dressage ability, such as selection by morphological trait.

317 The refinement of the morphological trait definitions and the increase in the objectivity of
318 trait assessments using linear scoring system have been suggested for use with horses since
319 the late 1980s (Duensing et al., 2014). In the PRE breeding program, it is conceived as a tool
320 for genetic improvement of the animals' functionality, independent of the morphological
321 traits of the patron breed. The whole range of scores for the phenotypic LT was used in
322 almost all the traits, as was previously reported in the same breed (Sánchez et al., 2013). The
323 CV were generally high and it is assumable that the morphological differences in the horses
324 were well reflected with this methodology (Sánchez et al., 2013). It may also be possible to
325 identify indicator traits that are broadly assessable at an early age, thus allowing efficient
326 selection for a durable and competitive riding horse (Duensing et al., 2014). However, the
327 obvious benefits of the descriptive linear scoring system over evaluative assessments have
328 not yet led to its use as an indicator of dressage performance values in horses. It is worth
329 noting that the idea of ideal conformation does not exist, because one conformation trait
330 could be both advantageous for a certain locomotive characteristic and detrimental to others
331 (Back et al., 1996). It should be added that favorable dressage morphology is not the only
332 requirement to obtain good movement abilities, but a minimum level of conformation is

333 certainly needed in certain LT to obtain a good dressage horse. The assessment of a horse's
334 merits by virtue of its conformation is as ancient as man's usage of the species. Conformation
335 traits remain an interesting subject, because they are linked to desirable characteristics for
336 breeders of performance (Bakhtiari and Heshmat, 2009). In spite of this, horses will have
337 better chances of receiving high gait scores under skilful riders, good ambient conditions and
338 training than others with only good morphological conditions.

339 Since performance in dressage does not depend solely on morphology, a long period of
340 learning and training is required for a horse to achieve the highest level in dressage, which
341 entails a major economic investment. The search for traits that are indirectly related to
342 dressage performance would allow early assessment of animals; this way, the stud can save
343 resources, which are always limited, and direct their financial resources towards animals that
344 actually have morphological athletic skills. So the main interest of this paper was to assess
345 the possibility of obtaining an indirect selection criterion that allowed a pre-selection of
346 horses to take part in dressage, or which allows us to increase the basis of selection for
347 dressage - given the high cost entailed in preparing a horse to take the tests, and consequently
348 the small number of animals involved in the PSCJ. Our strategies were therefore to evaluate
349 the addition of morphological traits to the genetic evaluation of a limited number of animals
350 that had dressage traits and create an early morphological selection index related to dressage
351 aptitude in this breed. This latter strategy would enable the number of animals used for
352 selection to increase significantly, since there are many more PRE with a lineal
353 morphological record than those who have dressage records. On the other hand, generally, the
354 LT are taken once in the PRE life, which means that a young and an adult PRE would have
355 always identical LT information. Nevertheless, the dressage traits of each PRE may increase
356 over the time, and the older a PRE horse is, the more accurate the index will be.

357 The heritabilities of the selected LT traits analyzed were consistent with LT studied in others
358 breeds (Duensing et al., 2014) and as happens with the DT, they are suitable for use in
359 genetic selection. But, until now, information is scarce on the genetic relationships existing
360 between morphology and dressage ability in horses. The few estimates that have been
361 reported so far point towards a low to medium genetic correlation between morphological
362 traits and performance in dressage events (Koenen et al., 1995; Wallin et al., 2003).
363 Nevertheless, as functional traits in horses are generally measured at a more advanced age, it
364 has been argued that, in spite of the modest genetic correlations that they may have,
365 morphological traits can be used as an early culling criterion when selection is intended to
366 improve dressage performance (Saastamoinen and Barrey, 2000). Nonetheless, the
367 relationship between the LT and the DT has never been addressed before in the PRE and an
368 insufficient knowledge of the influence of conformation on performance can result in
369 inaccurate selection. According to our results (Table 3), the genetic correlations between DT
370 and LT were of mainly a moderate-low magnitude. This is consistent with the previous
371 studies with other breeds, where high genetic correlations between dressage and
372 morphological traits were not found (Koenen et al., 1995; Olsson et al., 2008; Ducro et al.,
373 2009).

374 Moreover, the importance of the locomotor pattern is related to the fact that for each type of
375 exercise, the horse uses a specific type of locomotion, where its individual characteristics
376 determine the level of performance it can achieve (Leleu et al., 2005), and this would be more
377 evident in young horses, since studying the relationship between morphology traits and
378 dressage performance in young horses has a major advantage: young horses are judged more
379 on the basis of their own gait characteristics than experienced horses (Biau and Barrey,
380 2004).

381 Holmström (2001) affirmed that the morphological differences between elite and non-
382 selected horses were small but significant for several traits, such as shoulder, pelvis and
383 femur inclinations and shoulder, elbow, stifle and hock joints. In Warmblood riding horse
384 Koenen et al. (1995) found five morphological traits genetically correlated with dressage
385 ability. Two of them agree with our results in the Total Score index (angle of shoulder and
386 length of croup) but differed in the length of neck and shoulder which was not selected in our
387 indices, perhaps due to the relationship among the LT.

388 Based on the relationships among traits, an index has been developed to combine several,
389 diverse traits related to the final goal of profitability, because they are dynamic tools that can
390 be adapted to any type of commercial objective. A selection index has been commonly used
391 for a long time in dairy cows (Miglior et al., 2005), and also studied or implemented in beef
392 (Amer et al., 2001), sheep (Byrne et al., 2010) or alpaca populations (Gutiérrez et al., 2014).
393 The selection index provided a natural connection between the net merit of an animal's
394 genotype and its relationship to profitability. Given the recognized difficulties in computing
395 realistic economic weights in leisure and/or sport horses, these are not usually computed. In
396 this study, a methodology based on the selection index theory by Hazel and Lush (1943),
397 reformulated to use PBV by Gutiérrez et al., (2014), has been developed for the first time in
398 this breed. Each DT was given the same economic weight in the index, to study relative
399 genetic responses starting with genetic parameters such as heritabilities and genetic
400 correlations. In addition, the aggregated genetic response in each trait assessed directly from
401 genetic parameters has been developed for dressage for the first time. Moderate to high
402 heritabilities of LT and a strong relationship among the three indices would make it possible
403 to make remarkable functionality in the next few decades by pre-selecting PRE without DT.
404 Overall, according to our results (Table 4), the response of a selection index using only LT
405 scores would not be as good as direct selection for performance traits but it is the only

406 opportunity to apply this selection in most PRE and it could be used to pre-select the PRE
407 which will take part in the dressage test.

408 The index methodology used here does not take completely into account the different
409 accuracies of the different traits - it accounts for differences in accuracy depending on the
410 differences in heritability, but ignores possible differences in the amount of information for
411 the different traits, for example, in our case, PRE always have only one morphological
412 record, while dressage records will gradually increase with age. Nevertheless, computation
413 with accuracy correction showed (Table 4) the acceptable genetic responses expected using
414 LT as selection criteria, compared to the current strategies (using only DT as selection
415 criteria). Despite the fact that the use of LT index had a relative lower response, its use could
416 be essential in young animals without any dressage record to carry out an early pre-selection,
417 because at this stage, the animals have LT records but do not have DT records. However, in
418 an old animal, the repeated records of DT would enable us to use only the preferable traits.

419 In conclusion, the results obtained in this study indicate that selection is feasible, given the
420 magnitudes of heritabilities in both types of traits. However, our results also suggest that it is
421 possible to preselect animals to be trained in dressage using conformation linear traits.
422 Nevertheless, in a scenario in which there is an equivalent amount of information in the LT
423 and DT groups of traits, the inclusion of morphological linear data in the evaluation of PRE
424 appears to have almost no advantages as a pre-selection tool, given the difference in accuracy
425 provided by each type of characters. In any case, the use of morphological linear data allows
426 us to greatly increase the basis of selection (number of animals available for selection) with
427 an acceptable genetic response, thus enabling us to optimize the breeding program in terms of
428 time and money.

429

430

431 **References**

- 432 Amer, P. R., G. Simm, M. G. Keane, M. G. Diskin, and B. W. Wickham. 2001. Breeding
433 objectives for beef cattle in Ireland. *Livest. Prod. Sci.* 67:223–239. Available from:
434 <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0035135239&partnerID=tZOtx3y1>
- 435 Back, W., H. C. Schamhardt, and A. Barneveld. 1996. The influence of conformation on fore
436 and hind limb kinematics of the trotting Dutch Warmblood horse. *Pferdeheilkunde* 12:647–
437 650. Available from: [http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-
438 0030531072&partnerID=tZOtx3y1](http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0030531072&partnerID=tZOtx3y1)
- 439 Bakhtiari, J., and G. Heshmat. 2009. Estimation of genetic parameters of conformation traits
440 in Iranian Thoroughbred horses. *Livest. Sci.* 123:116–120.
- 441 Becker, A.-C., K. F. Stock, and O. Distl. 2011. Genetic correlations between free movement
442 and movement under rider in performance tests of German Warmblood horses. *Livest. Sci.*
443 142:245–252. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2011.08.001>
- 444 Becker, A.-C., K. F. Stock, and O. Distl. 2012. Genetic analyses of new movement traits
445 using detailed evaluations of warmblood foals and mares. *J. Anim. Breed. Genet.* 129:390–
446 401. Available from: [http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-
447 84866169018&partnerID=tZOtx3y1](http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84866169018&partnerID=tZOtx3y1)
- 448 Belloy, E., and A. P. Bathe. 1996. The importance of standardising the evaluation of
449 conformation in the horse. *Equine Vet. J.* 28:429–430. Available from:
450 <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0030278194&partnerID=tZOtx3y1>
- 451 Biau, S., and E. Barrey. 2004. Relationship between stride characteristics and scores in
452 dressage tests. *Pferdeheilkunde* 20:140–144. Available from:
453 <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-1642302437&partnerID=tZOtx3y1>
- 454 Byrne, T. J., P. R. Amer, P. F. Fennessy, A. R. Cromie, T. W. J. Keady, J. P. Hanrahan, M. P.
455 McHugh, and B. W. Wickham. 2010. Breeding objectives for sheep in Ireland: A bio-
456 economic approach. *Livest. Sci.* 132:135–144. Available from:
457 <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-77954660628&partnerID=tZOtx3y1>
- 458 Ducro, B. J., H. Bovenhuis, and W. Back. 2009. Heritability of foot conformation and its
459 relationship to sports performance in a Dutch Warmblood horse population. *Equine Vet. J.*
460 41:139–143. Available from: [http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-
461 66349135684&partnerID=tZOtx3y1](http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-66349135684&partnerID=tZOtx3y1)
- 462 Ducro, B. J., E. P. C. Koenen, J. M. F. M. van Tartwijk, and H. Bovenhuis. 2007. Genetic
463 relations of movement and free-jumping traits with dressage and show-jumping performance
464 in competition of Dutch Warmblood horses. *Livest. Sci.* 107:227–234.
- 465 Duensing, J., K. F. Stock, and J. Krieter. 2014. Implementation and Prospects of Linear
466 Profiling in the Warmblood Horse. *J. Equine Vet. Sci.* 34:360–368. Available from:
467 <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84897641945&partnerID=tZOtx3y1>

- 468 Groeneveld, E., M. Kovac, and N. Mielenz. 2010. VCE. Users's Guide and Reference
469 Manual Version 6.0.
- 470 Gutiérrez, J. P., I. Cervantes, M. A. Pérez-Cabal, A. Burgos, and R. Morante. 2014.
471 Weighting fibre and morphological traits in a genetic index for an alpaca breeding
472 programme. *Animal* 8:360–9. Available from:
473 <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84894383929&partnerID=tZOtx3y1>
- 474 Hazel, L., and J. Lush. 1943. The efficiency of three methods of selection. *J. Hered.* 33:393–
475 399.
- 476 Holmström, M. 2001. The effects of conformation. In: C. Clayton H., Saunders, editor.
477 *Equine Locomotion*. London.
- 478 Koenen, E. P. C., A. E. van Veldhuizen, and E. W. Brascamp. 1995. Genetic parameters of
479 linear scored conformation traits and their relation to dressage and show-jumping
480 performance in the Dutch Warmblood Riding Horse population. *Livest. Prod. Sci.* 43:85–94.
- 481 Leleu, C., C. Cotrel, and E. Barrey. 2005. Relationships between biomechanical variables and
482 race performance in French Standardbred trotters. *Livest. Prod. Sci.* 92:39–46. Available
483 from: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-13444256577&partnerID=tZOtx3y1>
- 485 Mantovani, R., C. Sartori, and G. Pigozzi. 2013. Retrospective and statistical analysis of
486 breeding management on the Italian Heavy Draught Horse breed. *Animal* 7:1053–9.
487 Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23473302>
- 488 Miglior, F., B. L. Muir, and B. J. Van Doormaal. 2005. Selection indices in Holstein cattle of
489 various countries. *J. Dairy Sci.* 88:1255–1263. Available from:
490 <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-22144458755&partnerID=tZOtx3y1>
- 491 Moore, J. 2010. General Biomechanics: The Horse As a Biological Machine. *J. Equine Vet.*
492 *Sci.* 30:379–383. Available from: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-77954654112&partnerID=tZOtx3y1>
- 494 Olsson, E., A. Näsholm, E. Strandberg, and J. Philipsson. 2008. Use of field records and
495 competition results in genetic evaluation of station performance tested Swedish Warmblood
496 stallions. *Livest. Sci.* 117:287–297. Available from:
497 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871141307006038>
- 498 Posta, J., I. Komlósi, and S. Mihók. 2010. Genetic parameters of Hungarian sport horse. Mare
499 performance tests. *Anim. Sci. Pap. Reports* 28:373–380. Available from:
500 <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-78649777372&partnerID=tZOtx3y1>
- 501 Saastamoinen, M. A., and E. Barrey. 2000. Genetics of conformation, locomotion and
502 physiological traits. In: A. T. Bowling and A. Ruvinsky, editors. *The genetics of the horse*.
503 London. p. 439–472.
- 504 Sánchez, M. J., I. Cervantes, M. Valera, and J. P. Gutiérrez. 2014. Modelling genetic
505 evaluation for dressage in Pura Raza Español horses with focus on the rider effect. *J. Anim.*

- 506 Breed. Genet. 131:395–402. Available from:
507 <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84911374802&partnerID=tZOtx3y1>
- 508 Sánchez, M. J., M. D. Gómez, A. Molina, and M. Valera. 2013. Genetic analyses for linear
509 conformation traits in Pura Raza Español horses. *Livest. Sci.* 157:57–64.
- 510 SAS. 2001. *Sas/Statistical Users Guide for Personal Computer*.
- 511 Schroderus, E., and M. Ojala. 2010. Estimates of genetic parameters for conformation
512 measures and scores in Finnhorse and Standardbred foals. *J. Anim. Breed. Genet.* 127:395–
513 403.
- 514 Vicente, A. A., N. Carolino, J. Ralão-Duarte, and L. T. Gama. 2014. Selection for
515 morphology, gaits and functional traits in Lusitano horses: II. Fixed effects, genetic trends
516 and selection in retrospect. *Livest. Sci.* 164:13–25. Available from:
517 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871141314001693>
- 518 Viklund, Å., A. Näsholm, E. Strandberg, and J. Philipsson. 2011. Genetic trends for
519 performance of Swedish Warmblood horses. *Livest. Sci.* 141:113–122. Available from:
520 <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-80053610220&partnerID=tZOtx3y1>
- 521 Wallin, L., E. Strandberg, and J. Philipsson. 2003. Genetic correlations between field test
522 results of Swedish Warmblood Riding Horses as 4-year-olds and lifetime performance results
523 in dressage and show jumping. *Livest. Prod. Sci.* 82:61–71.
- 524 Wold, S. 1994. PLS for Multivariate Linear Modeling. In: *QSAR: Chemometric Methods in*
525 *Molecular Design. Methods and Principles in Medicinal Chemistry*.
- 526
527

528 Table 1. Basic statistics of the 26 linear traits and the 6 dressage traits analyzed in the PRE
 529 horse.

	Trait	Range	Mean*	Mode	C.V.(%)	
Morphological traits	Primary traits	Length of head	1-9	5.57	5	21.29
		Width of head	1-7	3.46	3	18.09
		Space between jaws	1-9	4.36	5	30.06
		Length of neck	1-9	5.57	6	30.19
		Neck-body Junction	1-9	4.60	5	27.22
		Width of Chest	2-9	7.14	7	26.42
		Length of back	1-9	4.91	5	36.44
		Length of loin	1-9	6.28	7	31.21
		Length of shoulder	1-9	5.05	6	34.23
		Angle of shoulder	1-9	7.04	7	27.80
	Secondary traits	Length of forearm	1-9	6.55	6	24.19
		Cannon Bone Perimeter	1-9	5.30	5	21.62
		Length of croup	1-9	6.07	6	17.46
		Angle of croup	1-9	5.88	7	51.68
		Point of hip-stifle distance	1-9	4.34	3	36.83
		Ischium-stifle distance	1-9	3.92	4	33.87
		Length of buttock	1-9	4.84	5	38.00
		Length of leg	1-9	6.16	7	25.30
		Head-neck junction	1-9	4.83	5	24.10
		Upper neck line	1-9	5.23	5	22.82
Dressage traits	Dorsal line	1-9	4.72	5	23.61	
	Lateral angle of knee	1-9	5.15	5	14.76	
	Frontal angle of knee	1-8	5.34	5	14.82	
	Rear tendon development	1-9	4.91	5	21.17	
	Hock from rear	1-9	4.13	4	19.94	
	Lateral hock angle	1-9	5.08	5	19.35	
Dressage traits	Walk	2-8.7	6.49	6.5	9.31	
	Trot	4-9.2	6.58	6.5	7.54	
	Canter	3-8.8	6.64	6.5	7.14	
	Submission	2-9	6.42	6.5	8.54	
	General impression	3.5-9	6.55	6.5	7.23	
	Total score	41-86.2	65.33	65	6.94	

530 * Any standard error was higher than 0.05

531

532 Table 2. The weight of the 26 linear traits (as model effect) and the 6 dressage traits (as
 533 dependent variable) in the partial least square model with reduced rank regression factorial
 534 extraction method in the PRE horse.

		Traits	Total Score	Partial Score	Gait Score
Morphological traits	Primary traits	Length of head	0.035	-0.141	-0.091
		Width of head	0.063	0.307	0.241
		Space between jaws	0.041	0.134	0.089
		Length of neck	-0.076	-0.042	-0.028
		Neck-body Junction	0.137	0.203	0.130
		Width of Chest	-0.110	-0.121	-0.078
		Length of back	-0.003	-0.075	-0.049
		Length of loin	-0.051	-0.121	-0.104
		Length of shoulder	-0.031	-0.113	-0.093
		Angle of shoulder	-0.083	-0.064	-0.041
		Length of forearm	-0.017	-0.065	-0.033
		Cannon Bone Perimeter	0.123	0.178	0.111
		Length of croup	0.093	0.176	0.137
		Angle of croup	-0.093	-0.178	-0.124
		Point of hip-stifle distance	0.002	0.054	0.057
		Ischium-stifle distance	0.120	0.340	0.267
		Length of buttock	-0.006	0.012	0.012
		Length of leg	0.025	0.035	0.018
		Head-neck junction	-0.055	-0.300	-0.236
	Secondary traits	Upper neck line	0.095	0.297	0.194
Dorsal line		-0.013	0.073	0.057	
Lateral angle of knee		0.072	0.212	0.188	
Frontal angle of knee		0.126	0.504	0.357	
Rear tendon development		-0.006	-0.019	0.004	
	Hock from rear	-0.002	0.171	0.123	

535

536 Table 3. Genetic parameters (heritabilities, and genetic correlations with standard error) for
 537 morphological linear and dressage performance traits analyzed in the PRE horse.

	Genetic parameters						
	h^2	Walk	Trot	Canter	Submission	General impression	Total score
	0.21	0.27	0.33	0.31	0.30	0.30	
	± 0.013	± 0.024	± 0.026	± 0.028	± 0.025	± 0.023	
Width of head	0.15	0.00	-0.20	-0.21	-0.11	-0.18	-0.16
	± 0.03	± 0.031	± 0.022	± 0.025	± 0.014	± 0.021	± 0.014
Head-neck junction	0.44	-0.12	-0.13	-0.13	-0.13	-0.12	-0.13
	± 0.012	± 0.017	± 0.014	± 0.013	± 0.016	± 0.014	± 0.013
Upper neck line	0.36	0.24	0.06	0.06	0.16	0.12	0.15
	± 0.011	± 0.043	± 0.024	± 0.027	± 0.019	± 0.015	± 0.011
Neck-body junction	0.14	-0.22	-0.17	-0.20	-0.29	-0.23	-0.25
	± 0.026	± 0.031	± 0.020	± 0.020	± 0.018	± 0.020	± 0.020
Width of chest	0.31	-0.20	-0.30	-0.22	-0.10	-0.20	-0.21
	± 0.017	± 0.026	± 0.022	± 0.020	± 0.021	± 0.018	± 0.014
Angle of shoulder	0.29	0.20	0.41	0.46	0.39	0.40	0.41
	± 0.024	± 0.043	± 0.018	± 0.031	± 0.026	± 0.018	± 0.019
Lateral angle of knee	0.22	0.44	0.20	0.18	0.16	0.24	0.26
	± 0.034	± 0.025	± 0.015	± 0.027	± 0.021	± 0.021	± 0.021
Frontal angle of knee	0.16	0.10	0.22	0.08	0.12	0.12	0.13
	± 0.040	± 0.021	± 0.017	± 0.021	± 0.017	± 0.013	± 0.013
Canon bone perimeter	0.53	0.21	0.12	0.13	0.24	0.19	0.20
	± 0.013	± 0.044	± 0.022	± 0.016	± 0.018	± 0.013	± 0.013
Length of croup	0.15	0.07	-0.01	0.10	0.09	0.07	0.08
	± 0.039	± 0.027	± 0.018	± 0.021	± 0.027	± 0.015	± 0.012
Angle of croup	0.25	0.14	0.01	0.03	0.18	0.10	0.11
	± 0.017	± 0.047	± 0.024	± 0.021	± 0.020	± 0.017	± 0.015
Ischium-stifle distance	0.12	0.22	-0.21	-0.31	-0.15	-0.15	-0.12
	± 0.015	± 0.055	± 0.030	± 0.026	± 0.037	± 0.016	± 0.015
Lateral hock angle	0.35	0.05	-0.04	-0.01	0.10	0.01	0.02
	± 0.015	± 0.030	± 0.019	± 0.020	± 0.032	± 0.013	± 0.013

538

539 Table 4. Expected Genetic Responses for the morphological selection indices related to
 540 dressage aptitude in the PRE.

Objective	Index	Criteria	Walk	Trot	Canter	Submission	General impression	Total Score
Total Score	Type 1 _{TS}	PS						1.80
	Type 2 _{TS}	10 LT						0.76
	Type 3 _{TS}	10 LT+PS						2.97
Partial Score	Type 1 _{PS}	PS	0.12	0.15	0.17	0.18	0.17	
	Type 2 _{PS}	8 LT	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	
	Type 3 _{PS}	8 LT+TS	0.13	0.16	0.18	0.18	0.17	
Gait Scores	Type 1 _{GS}	GS	0.10	0.15	0.16			
	Type 2 _{GS}	7 LT	0.04	0.03	0.03			
	Type 3 _{GS}	7 LT+TS	0.12	0.15	0.17			

541 TS= Total scores; PS =Partial Scores; walk + trot + canter + submission+ general impression,
 542 GS= Gait Score; walk+ trot + canter, 10 LT= upper neck line + neck-body junction + width
 543 of chest + angle of shoulder + frontal angle of knee + cannon bone perimeter + length of
 544 croup + angle of croup + ischium-stifle distance +lateral hock angle; 8 LT= width of head
 545 +head-neck junction + upper neck line,+ neck-body junction + lateral angle of knee + frontal
 546 angle of knee + ischium-stifle distance + lateral hock angle.7 LT= width of head +head-neck
 547 junction + upper neck line,+ lateral angle of knee + frontal angle of knee + ischium-stifle
 548 distance + lateral hock angle.

- 1 Supplementary Table 1. Genetic correlations (above the diagonal), heritabilities (on the diagonal) and phenotypic correlations (below the diagonal) and their standard error (below its genetic value) between the morphological linear and dressage performance traits analyzed in the
- 2
- 3 PRE horse.

	WH	HNJ	UNL	NBJ	WC	AS	LAK	FAK	CBP	LC	AC	ISD	LHA	W	T	C	S	GI	TS
WH	0.15	-0.15	0.36	0.12	0.41	-0.37	0.06	0.05	0.28	0.11	-0.03	-0.19	0.16	0.00	-0.20	-0.21	-0.11	-0.18	-0.16
HNJ	0.030	0.021	0.061	0.026	0.024	0.069	0.038	0.025	0.015	0.043	0.022	0.067	0.038	0.031	0.022	0.025	0.014	0.021	0.014
UNL	0.040	0.012	0.031	0.068	0.016	0.025	0.073	0.077	0.029	0.020	0.017	0.030	0.048	0.017	0.014	0.013	0.016	0.014	0.013
NBJ	0.056	0.043	0.011	0.056	0.043	0.030	0.045	0.056	0.012	0.038	0.035	0.085	0.047	0.043	0.024	0.027	0.019	0.015	0.011
WC	0.038	0.038	0.040	0.026	0.016	0.12	-0.31	-0.04	0.33	0.07	0.01	-0.49	0.00	0.13	-0.22	-0.17	-0.20	-0.29	-0.23
AS	0.033	0.038	0.056	0.034	0.017	0.108	0.067	0.019	0.015	0.050	0.023	0.031	0.028	0.026	0.022	0.020	0.021	0.018	0.014
LAK	0.042	0.038	0.039	0.041	0.042	0.024	0.016	0.017	0.016	0.070	0.030	0.087	0.023	0.043	0.018	0.031	0.026	0.018	0.019
FAK	0.042	0.038	0.039	0.041	0.042	0.032	0.034	0.028	0.014	0.020	0.023	0.120	0.024	0.025	0.015	0.027	0.021	0.021	0.021
CBP	0.039	0.038	0.040	0.039	0.039	0.036	0.039	0.040	0.051	0.022	0.022	0.027	0.013	0.021	0.017	0.021	0.017	0.013	0.013
LC	0.26	0.03	0.15	0.01	0.41	-0.04	0.05	-0.07	0.53	0.38	0.36	0.24	0.07	0.21	0.12	0.13	0.24	0.19	0.20
AC	0.033	0.038	0.036	0.038	0.029	0.039	0.038	0.040	0.013	0.024	0.035	0.031	0.021	0.044	0.022	0.016	0.018	0.013	0.013
ISD	0.034	0.040	0.037	0.036	0.035	0.040	0.036	0.038	0.032	0.039	0.019	0.051	0.067	0.027	0.018	0.021	0.027	0.015	0.012
LHA	0.08	0.06	0.11	-0.13	0.20	-0.03	-0.12	0.01	0.13	-0.21	0.25	0.28	0.50	0.14	0.01	0.03	0.18	0.10	0.11
W	0.037	0.037	0.036	0.041	0.034	0.039	0.041	0.038	0.036	0.042	0.017	0.067	0.028	0.047	0.024	0.021	0.020	0.017	0.015
T	0.07	0.14	0.06	-0.07	0.19	0.05	0.02	0.01	0.15	0.17	0.05	0.12	-0.07	0.22	-0.21	-0.31	-0.15	-0.15	-0.12

LHA	0.00	0.08	0.11	0.04	0.40	0.055	0.037	0.038	0.038	0.038	0.11	-0.17	0.035	0.038	0.038	0.038	0.015	0.045	0.055	0.030	0.026	0.037	0.016	0.015
	0.038	0.037	0.036	0.038	0.030	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039	0.036	0.042	0.029	0.037	0.015	0.030	0.019	0.020	0.030	-0.04	-0.01	0.10	0.01	0.02
W	0.00	-0.04	0.07	-0.04	-0.05	0.05	0.09	0.02	0.07	0.01	0.03	0.03	0.01	0.21	0.59	0.60	0.68	0.73	0.77					
	0.038	0.039	0.037	0.039	0.039	0.038	0.037	0.038	0.037	0.038	0.038	0.038	0.038	0.013	0.023	0.025	0.017	0.029	0.017					
T	-0.02	-0.04	0.02	-0.03	-0.09	0.11	0.05	0.05	0.04	0.00	0.00	-0.04	-0.01	0.64	0.27	0.92	0.86	0.94	0.93					
	0.039	0.039	0.038	0.038	0.040	0.036	0.038	0.038	0.038	0.038	0.039	0.038	0.039	0.023	0.024	0.022	0.009	0.005	0.006					
C	-0.03	-0.05	0.02	-0.04	-0.07	0.14	0.05	0.02	0.05	0.02	0.05	0.02	0.01	-0.06	0.00	0.66	0.81	0.33	0.95	0.97	0.96			
	0.039	0.039	0.038	0.039	0.040	0.036	0.038	0.038	0.037	0.038	0.037	0.038	0.040	0.039	0.022	0.017	0.026	0.008	0.003	0.004				
S	-0.01	-0.05	0.05	-0.06	-0.03	0.12	0.04	0.03	0.10	0.02	0.05	-0.03	0.03	0.66	0.78	0.83	0.31	0.96	0.97					
	0.039	0.039	0.037	0.040	0.039	0.036	0.038	0.038	0.036	0.038	0.036	0.038	0.037	0.039	0.038	0.023	0.018	0.016	0.028	0.006	0.005			
GI	-0.02	-0.04	0.04	-0.05	-0.06	0.12	0.06	0.03	0.08	0.02	0.03	-0.03	0.00	0.77	0.87	0.90	0.89	0.30	1.00					
	0.039	0.039	0.038	0.039	0.040	0.036	0.037	0.038	0.037	0.038	0.037	0.038	0.039	0.038	0.019	0.014	0.012	0.013	0.025	0.002				
TS	-0.02	-0.05	0.05	-0.05	-0.06	0.12	0.07	0.03	0.08	0.02	0.03	-0.02	0.01	0.82	0.89	0.91	0.91	0.97	0.30					
	0.039	0.039	0.038	0.039	0.040	0.036	0.037	0.038	0.037	0.038	0.037	0.038	0.039	0.038	0.017	0.013	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.023

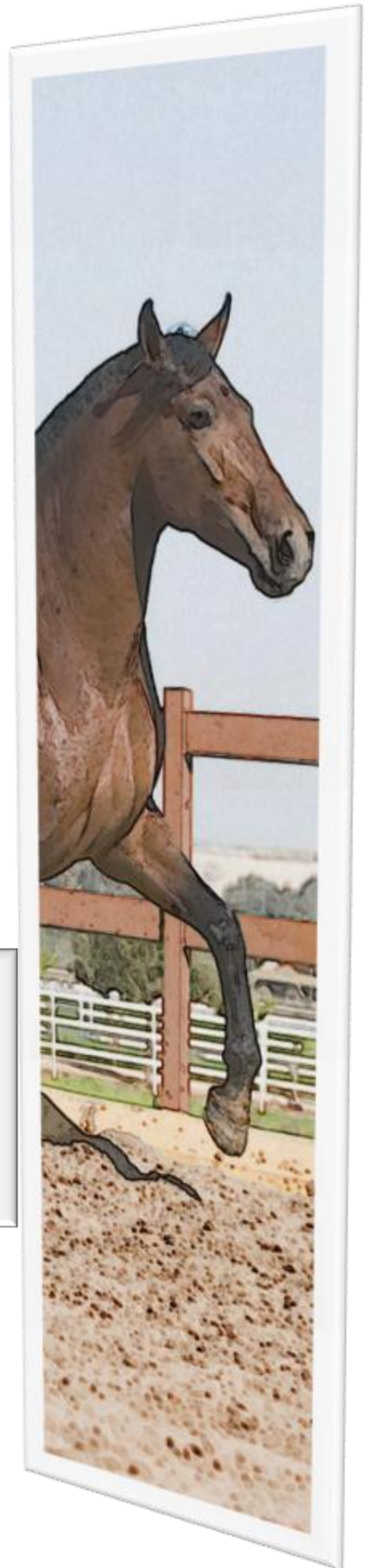
4 WH= width of head, HNJ= head-neck junction. UNL= upper neck line, NBJ= neck-body junction, WC= width of chest, AS= angle of shoulder,

5 LAK= lateral angle of knee, FAK= frontal angle of knee, CBP= cannon bone perimeter, LC= length of croup, AC= angle of croup, ISD=

ischium-stifle distance, LHA= lateral hock angle, W=walk, T= trot, C=Canter, S= submission, GI= general impression, TS= total score.

7

Discusión General



4. 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.

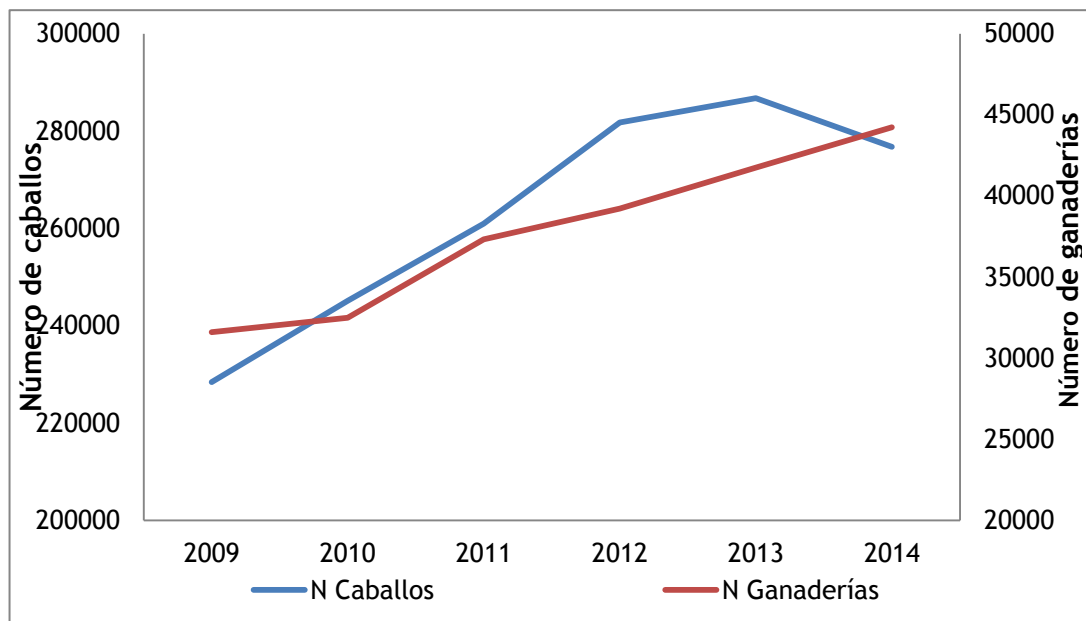
4.1 RAZAS EQUINAS: SITUACIÓN ACTUAL DEL SECTOR EQUINO ESPAÑOL.

La ganadería basada en la explotación de los équidos es una de las más antiguas de España. En la historia de este país los équidos han estado muy ligados a la guerra y al trabajo, participando con los ejércitos en todos los avatares históricos, desde las conquistas en Europa hasta el descubrimiento de América, y siendo instrumento de trabajo imprescindible en ciudades y campos. Así mismo, es destacable el papel de las principales razas equinas autóctonas españolas como mejoradoras de un gran número de las razas equinas europeas y americanas que existen en la actualidad. Sin embargo, a lo largo del siglo XX se produjo una sustitución del caballo por la maquinaria agrícola en las tareas de campo y una transformación de las razas hacia aptitudes zootécnicas más acordes con los tiempos actuales (ocio o actividades deportivas).

Actualmente, según el Catálogo Oficial de Razas de Ganado de España (en su última actualización recogida en la Orden AAA/251/2012, de 9 de febrero, por la que se modifica el anexo I del Real Decreto 2129/2008, de 26 de diciembre; BOE-A-2012-2254), existen un total de 15 razas autóctonas de caballos, de las cuales solo el caballo de Pura Raza Española (PRE) está reconocida como raza autóctona de fomento, mientras que el resto (14 razas) se encuentran catalogadas como en “peligro de extinción”: Asturcón, Burguete, Caballo de Monte de País Vasco, Caballo de Pura Raza Gallega, Cavall Pirinenc Català, Hispano-Árabe, Hispano-Bretón, Jaca Navarra, Losina, Mallorquina, Marismeña, Menorquina, Monchina y Pottoka.

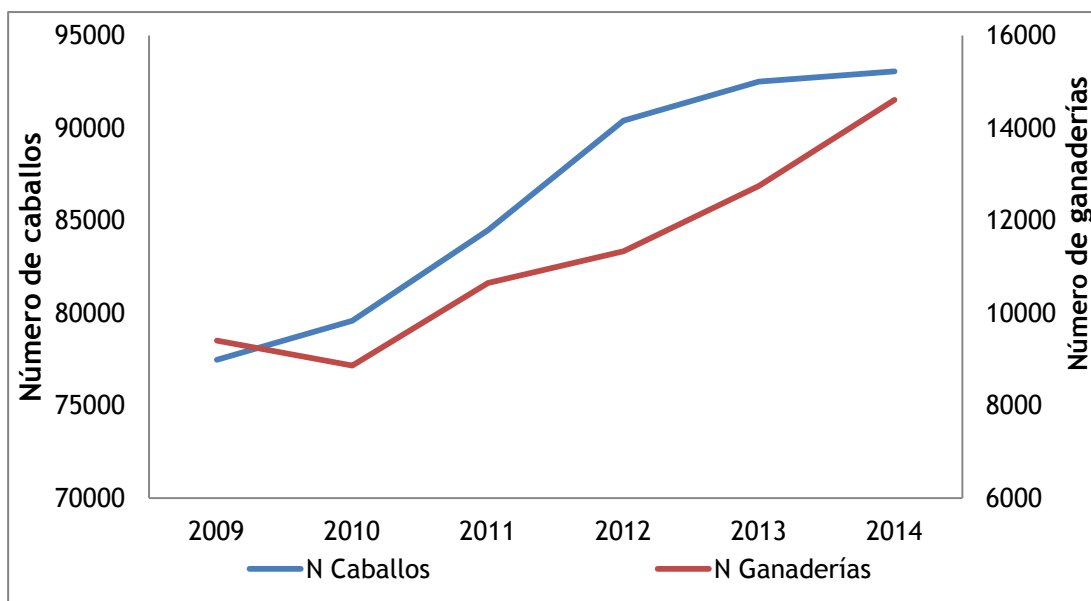
Según los datos censales del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA, 2015), a fecha 31 de Diciembre de 2014 había en España 44.243 explotaciones equinas de animales de razas puras (Anglo-árabe, Asturcón, Burguete, Caballo de Deporte Español, Caballo de Monte de País Vasco, Cavall Pirinenc Català, Pura Raza Española, Hispano-bretón, Jaca Navarra, Mallorquina, Losina, Marismeña, Menorquina, Monchina, Pottoka, Hispano-árabe, Pura Sangre Inglés y Trotador Español), siendo la comunidad autónoma Andaluza, con 14.612 explotaciones, la que posee el mayor número (33,03% del registro nacional). Estas explotaciones acogen a un total de 276.739 animales de pura raza, estando adscritos a Andalucía 93.069 caballos, lo que supone el 33,63% del censo nacional. Aunque en general, el sector ha ido incrementando el número de explotaciones, la tendencia es diferente si se hace referencia a la dimensión de las mismas, ya que se ha producido una reducción del número de caballos por explotación, como consecuencia con el contexto económico actual. En la Figura 1 y 2 se presenta la evolución en los últimos 6 años del número de explotaciones y del número de de équidos de pura raza censados tanto en España como en Andalucía.

Figura 1. Evolución del número de caballos de pura raza y del número de explotaciones, en los últimos seis años, en España.



Fuente: MAGRAMA

Figura 2. Evolución del número de caballos de pura raza y del número de explotaciones, en los últimos 6 años, en Andalucía



4.2 EL CABALLO DE PURA RAZA ESPAÑOL

Histórica e internacionalmente, el caballo Andalus se conoce en España con la denominación oficial de Pura Raza Española, nomenclatura adoptada en 1912 con la creación del Libro de Registro de la Raza basada en la locución inglesa *purebred* o *purebreed*. Es el Fondo de Explotación de los Servicios de Cría Caballar y Remonta ,

dependiente del Ministerio de Defensa, quien fundó en España el primer Libro Genealógico (LG) para caballos de Pura Raza Árabe, Pura Sangre Inglés y Anglo-Árabe, decidiendo inscribir también a los, tradicionalmente llamados, caballos Andaluces como "Pura Raza Española" más tarde abreviado con las siglas PRE.

El caballo PRE es el más importante de España, tanto desde el punto de vista histórico, como sociocultural y censal. Desde el punto de vista histórico es de destacar la importancia que tiene esta raza en la formación de las principales razas equinas europeas y americanas (Valera, 1997; Loredó, 2005). Entre las razas que han sido influenciadas por el PRE destacan: Lipizzano, Alter real, Pura Sangre Lusitano, Caballo Frisón, Hackney, Kladrubers, Oldenburgoés, Holsteiner, Comnemara, Cuarto de Milla, y las distintas razas criollas americanas. Desde el punto de vista sociocultural, la influencia del PRE en las fiestas populares, romerías y ferias es muy notable. A este respecto cabe reseñar que en el último SICAB (Salón Internacional del caballo PRE), celebrado en diciembre de 2014 se generó un beneficio de 30 millones de euros según los datos aportados por ANCCE (2014). Y desde el punto de vista censal, destacar que es actualmente la raza mayoritaria en número de explotaciones de cría y selección en este país, contando en 2014 con un censo total de 180.063 ejemplares vivos (MAGRAMA, 2015) registrados en un total de 22.205 ganaderías diferentes, siendo Andalucía la comunidad autónoma con mayor censo de animales de PRE registrados (42,09% del censo total de la raza), seguida de Cataluña (9,87%), Castilla-León (8,56%) y Castilla-La Mancha (7,45%).

Según su prototipo racial, aprobado mediante la Resolución del 8 de mayo de 2012 de la Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios, el PRE es un caballo eumétrico, mesolíneo y de perfil subconvexo. Su conformación es proporcionada, con notable armonía general, gran belleza y con apreciable dimorfismo sexual. Aunque actualmente se aceptan todas las capas, las que predominan son la torda y la castaña. La alzada a la cruz en los machos oscila entre 1,54 y 1,72 metros y en las hembras entre 1,52 y 1,70 metros. Presentan aires brillantes, enérgicos, cadenciosos y elásticos, con apreciables elevaciones y extensiones, acusada facilidad para la reunión y para los giros sobre el tercio posterior. Tiene un brioso temperamento, siendo noble, dócil, equilibrado y con gran capacidad de aprendizaje.

Actualmente, la Asociación Nacional de Criadores de Caballos de Pura Raza Española (ANCCE), constituida en 1972 y con sede en Sevilla, es la asociación matriz de la raza a nivel internacional y es la responsable de la gestión del libro genealógico y del programa de mejora oficial de la raza.

4.2.1 PROGRAMA DE MEJORA

La ANCCE es la responsable del desarrollo del programa de mejora genético del caballo PRE, tras la aprobación de su modificación por el MAGRAMA en el año 2004. La dirección técnica del programa de mejora recae en la Dra. M. Valera perteneciente al grupo andaluz de investigación MERAGEM (PAI AGR-273 y AGR-158).

El objetivo principal es la mejora de la morfología, conformación y funcionalidad del caballo PRE. Para alcanzar estos objetivos se actúa en los siguientes objetivos específicos:

- 1) Obtención de animales sanos, que no posean defectos hereditarios.
- 2) Mejora de las características morfológicas de la raza, de acuerdo al patrón racial establecido en el caballo de PRE.
- 3) Mejora de la conformación, entendiéndola a ésta como la mejora de la morfología orientada hacia una determinada funcionalidad, especialmente la Doma Clásica.
- 4) Mejora del potencial funcional del caballo de PRE para las distintas disciplinas deportivas, fundamentalmente la Doma Clásica.
- 5) Mantenimiento, y en su caso mejora, de las características de comportamiento.

El principal objetivo de selección funcional es la aptitud para la Doma Clásica, al ser la disciplina hípica que acoge la mayor participación de animales de esta raza. Esta selección se realiza en base al rendimiento deportivo de los animales en las pruebas oficiales en las que participan, tanto PSCJ organizadas por la propia ANCCE, como en pruebas federativas nacionales, coordinadas por la Real Federación Hípica Española (RFHE). No obstante, es posible incorporar la evaluación de la aptitud funcional para otras disciplinas ecuestres siempre que se cuente con suficiente información de animales de la raza para realizar la valoración genética. A este respecto habría que señalar que en año 2014 un caballo PRE (Orador XLII) obtuvo la categoría de JRR para la disciplina de Concurso Completo de Equitación (Sánchez et al., 2014a). Los controles de rendimientos morfológicos en los que se recopila la información necesaria para la valoración genética de la conformación funcional (segundo objetivo específico de selección), se realizan utilizando la ficha de Calificación Morfológica Lineal (CML) puesta a punto en esta raza (Sánchez et al., 2010).


El programa de mejora del caballo PRE se estructura en 5 fases diferentes, tal y como establece la Orden APA/1018/2003 de 23 de abril:

1ª FASE. Valoración Genealógica: Registro de Nacimientos. En esta fase se realiza la identificación de los animales nacidos cada año y el control de la filiación mediante ADN, previo a su inscripción en el Registro de Nacimientos del LG de la raza, para asegurar la fiabilidad de los datos genealógicos utilizados posteriormente en las valoraciones genéticas. Así mismo, el material biológico de los ejemplares pasa a formar parte del banco de muestras para su posible uso en el diagnóstico de enfermedades citogenéticas (Demyda-Peyrás et al., 2013; Demyda-Peyrás et al., 2014) o de carácter hereditario como el cuello de gato, los melanomas, la osteocondrosis, etc. y para la realización de estudios sobre la variabilidad genética de la raza a partir de marcadores moleculares (Azor et al., 2006; Azor et al., 2007; Solé et al., 2012)). A partir de los datos suministrados por el LG, se determinan periódicamente los principales parámetros poblacionales que permiten estimar el nivel de variabilidad genética de la raza (Cervantes et al., 2008; Cervantes et al., 2011a; Cervantes et al., 2011b)


2ª FASE. Valoración Genealógica: Registro Definitivo. Para acceder al Registro Definitivo del LG del caballo PRE, los ejemplares del Registro de Nacimientos deben superar, a partir de los 3 años de edad, una valoración de la aptitud básica para la reproducción, establecida en la reglamentación zootécnica vigente para esta raza, donde se evalúa, entre otras cosas la ausencia de los defectos descalificantes y penalizantes establecidos en su prototipo racial. En la Figura 3 se presenta la ficha

utilizada para realizar esta valoración básica. En esta ficha se incluyen 9 medidas zoométricas, 20 variables morfológicas lineales, 5 variables de apreciación respecto al ideal (fidelidad racial, armonía del conjunto, calidad del paso, trote y galope) y la comprobación explícita de la monorquidia/criporquidia de forma dicotómica (sí/no). De estas variables 21 se pueden considerar defectos, siendo 8 de éstas descalificantes, por si solas, en ciertas categorías.

Figura 3. Ficha utilizada en la valoración básica del caballo PRE



ANCCE
Asociación Nacional de Criadores de Caballos Puros de Raza Española



Libro Genealógico PRE
1973 - 2012

CERTIFICADO DE APTITUD BÁSICA PARA LA REPRODUCCIÓN

D/Dña.: _____ NIF/CIF: _____

Como Delegado/personal autorizado del Libro Genealógico del caballo Pura Raza Español, CERTIFICA que el ejemplar abajo identificado ha presentado:

ETIQUETA

1. ZOOMETRÍA (cm)

Altura a la cruz (mínimo \geq 154 y \leq 152)	Longitud del antebrazo	Longitud de la pierna
Altura al punto más declive de la cruz	Dímetro dorso esternal	Longitud de la nalga
Alturas a las palomillas	Dímetro lumbar	Comensura labial
Longitud escapulo humeral	Longitud del dorso	Perímetro torácico
Longitud de la cabeza	Longitud del lomo	Perímetro de la rodilla
Anchura de la cabeza	Anchura de grupa	Perímetro de la caña anterior
Longitud de cuello	Longitud de la grupa	Ángulo de la espaldas
Anchura de pecho	Distancia anca-babilla	Ángulo de la grupa
Longitud de la espalda	Distancia nalga-babilla	Índice de proporcionalidad (≥ 90 y ≤ 110)

2. VARIABLES LINEALES

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Perfil frontal	Ultracóncavo	Cóncavo	Recto	Convexo	Ultracóncavo				
Unión cabeza cuello	Muy empastada	empastada	Algo marcada	marcada	Muy marcada				
Unión inferior cuello tronco	Muy baja	Baja	Alta	Alta	Muy alta				
Cuello de ciervo	Asiente	Incipiente	Liger. invertido	invertido	Muy invertido				
Ángulo rodilla (vista lateral)	Cóncavo	Liger. cóncavo	En la vertical	Liger. triscovano	triscovano				
Línea dorso lumbar	convexa	Recta	Ligeram. cóncava	Cóncava (medular)	Muy cóncava				
Ángulo del corvejón (vista lateral)	Muy cerrado	Cerrado	Normal	Abierto	Muy abierto				
Desarrollo muscular	Muy poco	Poco	Medio	Desarrollado	Muy desarrollado				
Espacio intermandibular	Muy cerrado	Cerrado	Medio	Abierto	Muy abierto				
Designaciones Ojos	Asientes	Pocas	Algunas	Muchas	Muy extendidas				
Designaciones Ollares	Asientes	Pocas	Algunas	Muchas	Muy extendidas				
Designaciones Boca	Asientes	Pocas	Algunas	Muchas	Muy extendidas				
Ángulo rodilla (vista frontal)	Hueco	Liger hueco	En la vertical	Liger. zambó	Zambó				
Dirección de las lumbres anter.	Muy hacia afuera	Hacia afuera	Hacia delante	Hacia dentro	Muy hacia dentro				
Dirección de las lumbres poster.	Muy hacia afuera	Hacia afuera	Hacia delante	Hacia dentro	Muy hacia dentro				
Borde superior cuello	Muy fino	Fino	Medio	Grueso	Muy grueso				
Cuello de gato	Asiente	No recto	Incipiente	Vencido	Caldo				
Dirección corvejón (vista trasera)	Muy convergentes	Convergentes	Paralelos	Divergentes	Muy divergentes				
Desarrollo tendón posterior	Muy fino	Fino	Medio	Desarrollado	Muy desarrollado				
Melanomas	Asientes	Pocas	Algunas	Muchas	Gran cantidad				

Fidelidad Racial (1-10)	Armonía del conjunto (1-10)	Calidad del paso (1-10)	Calidad del trote (1-10)	Calidad del galope (1-10)
-------------------------	-----------------------------	-------------------------	--------------------------	---------------------------

Monorquidia Sí No Accidental No accidental

Criporquidia Sí No Accidental No accidental

Estado de presentación para la valoración No se pudo valorar

3. RESULTADO APTO NO APTO

Para su inscripción en el REGISTRO DEFINITIVO del LG PRE ANCCCE con el nº: _____

ENTERADO

El ganadero/representante legal

Fdo: _____

D.N.I.: _____ Fecha: _____

En _____ de _____ de 20__

El Veterinario Delegado del Libro Genealógico PRE ANCCCE

Fdo: _____

Ejemplar para la Oficina Central del LG PRE ANCCCE

PROCEDIMIENTO DE VALORACIÓN

- Para proceder a la valoración de la aptitud básica del ejemplar es imprescindible la presentación de su Documentación original.
- Los datos recogidos en esta ficha servirán como control de rendimientos para la valoración genética en el marco del Programa de Mejora de la raza además de valorar la aptitud básica para la reproducción del ejemplar.
- Los animales que presenten monorquidia o criporquidia quirúrgica y cubra crónica deben presentar un certificado veterinario oficial que lo demuestre en el momento de la solicitud de la valoración para que pueda ser tenido en cuenta por el personal autorizado. En el caso de la monorquidia o criporquidia quirúrgica el certificado deberá ser emitido por un Hospital Veterinario donde se haya realizado la intervención.
- Aquellos ejemplares que no reúnan las condiciones que permitan la obtención de todos los datos que se exigen en una prueba de valoración de la aptitud básica para la reproducción sus titulares deberán solicitar de nuevo la valoración y abonar el importe correspondiente.
- Si el resultado fuese NO APTO el producto tiene derecho a una segunda valoración.

Descripción de los defectos descalificantes, defectos muy graves y defectos graves:

VARIABLE	DEFECTOS DESCALIFICANTES	DEFECTOS MUY GRAVES	DEFECTOS GRAVES
Altura a la cruz	<154 en machos y <152 en hembras	>172 en machos y >170 en hembras	
Índice de proporcionalidad	<90 y >110		
Cuello de gato	Clase 2 7	Clase 6	Clase 5
Cuello de ciervo	Clase 2 7	Clase 6	Clase 5
Perfil frontal	Clases 1, 2 y 9	Clase 3	Clase 4
Fidelidad Racial	1 y 2 puntos	3 puntos	4 puntos
Monorquidia	no accidental		
Criporquidia	no accidental		
Armonía del Conjunto			< 5 puntos
Ángulo de la rodilla (vista lateral)		Clase 9	Clases 1, 2, 7 y 8
Ángulo de la rodilla (vista frontal)		Clase 9	Clases 1, 2, 7 y 8
Dirección corvejón (vista trasera)		Clases 8 y 9	Clases 1, 2 y 7
Ángulo del corvejón (vista lateral)		Clases 8 y 9	Clases 1, 2 y 7
Línea dorso lumbar		Clase 1 y 9	Clases 1 y 8
Dirección de las lumbres anteriores		Clases 8 y 9	Clases 1 y 2
Dirección de las lumbres posteriores		Clases 8 y 9	Clases 1 y 2
Calidad del paso			< 5 puntos
Calidad del trote			< 5 puntos
Calidad del galope			> 5 cm
Alto de palomillas			Clase 9
Melanomas			

El ejemplar será NO APTO cuando presente algún defecto descalificante, 5 defectos graves, 3 defectos muy graves o se den las siguientes circunstancias:

Nº DE DEFECTOS GRAVES	Nº DE DEFECTOS MUY GRAVES	RESULTADO DE LA VALORACIÓN
0	0	NO APTO
0	1	NO APTO
0	2	NO APTO
0	3	NO APTO
0	4	NO APTO
0	5	NO APTO
0	6	NO APTO
0	7	NO APTO
0	8	NO APTO
0	9	NO APTO
0	10	NO APTO
0	11	NO APTO
0	12	NO APTO
0	13	NO APTO
0	14	NO APTO
0	15	NO APTO
0	16	NO APTO
0	17	NO APTO
0	18	NO APTO
0	19	NO APTO
0	20	NO APTO
0	21	NO APTO
0	22	NO APTO
0	23	NO APTO
0	24	NO APTO
0	25	NO APTO
0	26	NO APTO
0	27	NO APTO
0	28	NO APTO
0	29	NO APTO
0	30	NO APTO
0	31	NO APTO
0	32	NO APTO
0	33	NO APTO
0	34	NO APTO
0	35	NO APTO
0	36	NO APTO
0	37	NO APTO
0	38	NO APTO
0	39	NO APTO
0	40	NO APTO
0	41	NO APTO
0	42	NO APTO
0	43	NO APTO
0	44	NO APTO
0	45	NO APTO
0	46	NO APTO
0	47	NO APTO
0	48	NO APTO
0	49	NO APTO
0	50	NO APTO
0	51	NO APTO
0	52	NO APTO
0	53	NO APTO
0	54	NO APTO
0	55	NO APTO
0	56	NO APTO
0	57	NO APTO
0	58	NO APTO
0	59	NO APTO
0	60	NO APTO
0	61	NO APTO
0	62	NO APTO
0	63	NO APTO
0	64	NO APTO
0	65	NO APTO
0	66	NO APTO
0	67	NO APTO
0	68	NO APTO
0	69	NO APTO
0	70	NO APTO
0	71	NO APTO
0	72	NO APTO
0	73	NO APTO
0	74	NO APTO
0	75	NO APTO
0	76	NO APTO
0	77	NO APTO
0	78	NO APTO
0	79	NO APTO
0	80	NO APTO
0	81	NO APTO
0	82	NO APTO
0	83	NO APTO
0	84	NO APTO
0	85	NO APTO
0	86	NO APTO
0	87	NO APTO
0	88	NO APTO
0	89	NO APTO
0	90	NO APTO
0	91	NO APTO
0	92	NO APTO
0	93	NO APTO
0	94	NO APTO
0	95	NO APTO
0	96	NO APTO
0	97	NO APTO
0	98	NO APTO
0	99	NO APTO
0	100	NO APTO

3ª FASE. Control de Rendimientos y Valoración Genética Individual: Jóvenes Reproductores Recomendados y Reproductores Calificados. En esta fase se realiza el control de rendimientos morfológicos y de la aptitud para la Doma Clásica, que posteriormente será utilizado para realizar la valoración genética de los ejemplares. Las categorías genéticas que pueden conseguir los animales en función del valor de cría y de su fiabilidad son:

- Joven Reproductor Recomendado (JRR) en Aptitud Morfológica: ejemplar inscrito en el Registro Definitivo del LG de la raza, participante en los controles de rendimientos establecidos para morfología (CML), con 4 y 6 años de edad y que haya obtenido un Índice Genético Global (IGG) en aptitud morfológica para la Doma Clásica superior al percentil 70 (30% de los animales con mejor IGG). Así mismo, debe haber destacado individualmente por sus méritos morfofuncionales, superando los requisitos a tal efecto, reproductivos y sanitarios establecidos por la ANCCCE.

- Joven Reproductor Recomendado para la Doma Clásica: ejemplar inscrito en el Registro Definitivo, participante en los controles de rendimientos establecidos para Doma Clásica (PSCJ y RFHE), con edad comprendida entre los 4 y 6 años y que haya obtenido un IGG para la Doma Clásica superior a la media poblacional. Estos ejemplares también deben demostrar el status sanitario y reproductivo establecido por la ANCCE.
- Reproductor Calificado: Ejemplar con un IGG en aptitud morfológica para la Doma Clásica o un IGG para la Doma Clásica superior a la media poblacional, y que haya superado una prueba fenotípica organizada por la ANCCE donde se valoran sus cualidades morfológicas y/o funcionales, biomecánicas y locomotoras, para los tres aires básicos y las aptitudes internas, además de las características reproductivas y sanitarias, de acuerdo al procedimiento establecido por la ANCCE.

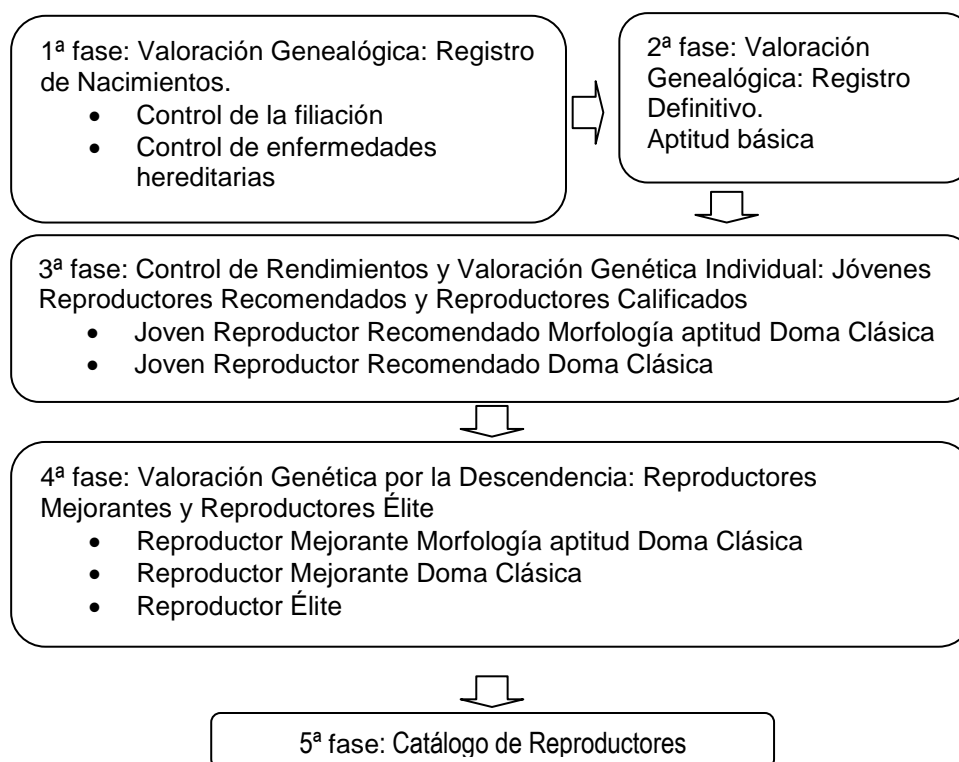
4- FASE. Valoración Genética por la descendencia: Reproductores Mejorantes y Reproductores de Élite. En esta fase se realiza la valoración genética de los ejemplares por la descendencia, para la consecución de las categorías genéticas de Reproductor Mejorante y/o Reproductor Élite para cada una de los objetivos de selección previamente definidos en el programa de mejora de la raza:

- Reproductor Mejorante en Aptitud Morfológica: Reproductor de 7 o más años de edad, que haya obtenido un IGG en aptitud morfológica para la Doma Clásica superior a la media poblacional, con una fiabilidad mínima de 0,60 y que cuente con suficientes descendientes con la categoría de JRR. Estos animales también deberán cumplir los requisitos reproductivos y sanitarios establecidos por la ANCCE.
- Reproductor Mejorante para la Doma Clásica: Reproductor de 7 o más años de edad, que haya obtenido un IGG para la Doma Clásica superior a la media poblacional, con una fiabilidad mínima de 0,60 y que cuente con suficientes descendientes con la categoría de JRR. Estos animales también deberán cumplir los requisitos reproductivos y sanitarios establecidos por la ANCCE.
- Reproductor de Élite: Ejemplares de 7 o más años de edad que haya obtenido la categoría de Reproductor Mejorante en Aptitud Morfológica para la Doma Clásica y para la Doma Clásica, cumpliendo los requisitos reproductivos y sanitarios establecidos por la ANCCE. Actualmente sólo existe un ejemplar con la categoría de élite: "Ermitaño III" criado por María Fernanda de la Escalera y propiedad de Jaime Moreno García (Sánchez et al., 2014a; Sánchez et al., 2014e)

5ª FASE. Catálogo de Reproductores. La ANCCE, de acuerdo con el programa de difusión de la mejora oficialmente aprobado para el PRE, debe dar la máxima difusión a los ejemplares con estas categorías genéticas para potenciar su actuación reproductiva y alcanzar un mayor progreso genético en la raza. El objetivo es la utilización precoz como reproductores de los Jóvenes Reproductores Recomendados y Reproductores Calificados, que permita incrementar el número de descendiente de forma rápida, contribuyendo a facilitar la obtención de la categoría de Reproductor Mejorante y/o Élite por parte de estos ejemplares. Por ello, tras la valoración genética anual, se emite un listado de ejemplares que han obtenido cada una de las categorías genéticas anteriormente señaladas por cumplir todos los

requisitos establecidos para ello, que la ANCCE hace público a modo de Catálogo de Reproductores. Hasta la fecha de hoy ANCCE ha publicado 9 catálogos de reproductores para la disciplina de Doma Clásica (Valera y col., 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, Sánchez y col., 2011, 2012, 2013, 2014) y 5 para la conformación funcional (Valera y col., 2010, 2011, 2012, Sánchez y col., 2013, 2014). El gran esfuerzo que supone la elaboración de estos catálogos, a partir de las valoraciones genéticas anuales, están dando los primeros frutos en la raza. A este respecto podemos observar que se ha producido un incremento de descendientes de los sementales con categoría genética (los sementales JRR han tenido un promedio de 23,09 crías frente a las 9,98 crías de los animales contemporáneos, los sementales Mejorantes han dejado 128,16 descendientes de media frente a las 12,59 crías de sementales contemporáneos y el reproductor Élite ha tenido 258 productos registrados en el LG). En la Figura 4 se presenta a modo de diagrama la estructura y fases del programa de mejora del PRE.

Figura 4. Diagrama de la estructura y fases del programa de mejora del Pura Raza Español.



4.3 CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA EN CABALLOS

A lo largo de la historia, el hombre ha seleccionado los reproductores equinos en base a sus características morfológicas y funcionales con el fin de criar caballos de calidad, con fuerza y belleza en función de sus necesidades (Edwards, 1992). En la cría y selección equina, la conformación es un factor primordial que ha sido utilizado tradicionalmente como un importante indicador de la salud y el rendimiento de los animales. La forma del cuerpo o la morfología define los límites del rango de movimientos y la funcionalidad del caballo (Mawdsley et al., 1996),

proporcionándole las características necesarias para llegar a ser un gran atleta y condicionando, en gran medida, el precio de la venta de los animales en el mercado (Preisinger et al., 1991).

4.3.1 SISTEMAS DE CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA

La mayoría de los programas de mejora para las distintas razas equinas tienen hoy en día, como objetivo la producción de animales con una conformación funcional óptima para las diferentes disciplinas ecuestres. Se podría afirmar que la conformación física del caballo es la combinación de dos procesos: uno de evolución natural, donde las demandas del medio ambiente han influido, de forma gradual, en el desarrollo de las propiedades locomotoras y físicas más adecuadas en los individuos y un segundo proceso donde la morfología del caballo se ha ido moldeando por selección del hombre a diversos tipos morfo-esqueléticos, a menudo para adaptarse a funciones específicas, produciendo una considerable divergencia entre las distintas razas de deporte que conocemos en la actualidad. Desde que se seleccionan los caballos por su morfología se han puesto a punto distintas metodologías que permiten la evaluación de la conformación equina. En este apartado vamos a realizar un repaso de las principales.

SISTEMAS SUBJETIVOS

La valoración visual del ganado conforme a los patrones morfológicos es probablemente la forma más antigua de recopilar información para los procedimientos de selección (Janssens and Vandepitte, 2004). La evaluación subjetiva de la morfología se ha definido como el hecho de juzgar a través del uso de una opinión personal lo que se considera bueno y correcto (Mawdsley et al., 1996) y se lleva a cabo principalmente en los concursos morfológicos específicos de cada raza, donde se puntúa a los animales por la idoneidad de su morfología respecto al patrón racial establecido.

Tradicionalmente, las puntuaciones registradas en los concursos morfológicos del PRE son una importante fuente de información que usan los ganaderos para la evaluación morfológica de esta raza. Y actualmente continúan siendo una referencia importante para los ganaderos de la raza, ya que las usan en la selección de los reproductores y los concursos morfológicos mueven un gran volumen de dinero. Un dato representativo de este mercado basado en la morfología respecto al patrón racial del caballo PRE es la facturación total de la final del campeonato morfológico internacional de la raza (Salón Internacional del Caballo Sevilla, SICAB) que fue de 30 millones de euros en el año 2014 (ANNCE, 2014). Sólo los caballos PRE inscritos en el LG oficial pueden participar en estos concursos, donde se agrupan los ejemplares en diferentes secciones según su sexo y edad. Dentro de estas secciones, los animales son puntuados con una escala numérica que puede oscilar entre 1 y 10 puntos, siendo 10 el “ideal racial”. Se trata pues de un juicio subjetivo mediante el uso de una sensación individual como el criterio de evaluación (Magnusson and Thafvelin, 1985), dejándose en muchos casos de lado la morfología funcional del animal. Lógicamente, el gran inconveniente de este sistema de evaluación es la subjetividad que conlleva, a pesar de que los jueces reciben cursos para estandarizar los principios básicos de juzgamiento que definen el ideal respecto al patrón racial. Por ello, las puntuaciones obtenidas en estos concursos morfológicos,

a menudo poseen una difícil aplicación como controles de rendimientos oficiales dentro de los programas de mejora (Stachurska and Bartyzel, 2011).

Por lo tanto, en el artículo de esta tesis titulado: *“Assessment Scores in Morphological Competitions of Pura Raza Español Horse”* se evaluó la fiabilidad de las puntuaciones emitidas por los jueces morfológicos en estos concursos oficiales de la raza utilizando el Índice de Desacuerdo (ID), metodología propuesta por Stachurska and Bartyzel (2011). Para calcular el ID, se utilizó la clasificación general obtenida para cada animal a partir del promedio de la nota de todos los jueces en cada concurso como el mejor indicador disponible, ya que es una variable que se decide por todos los jueces (Stachurska et al., 2006). Según nuestro estudio, no es recomendable un elevado número de jueces para participar en las competiciones de alto nivel (5 jueces), como la final del SICAB, ya que aumenta el coste de la prueba y da mayores ID. Se comprobó, que sólo los concursos con 3 jueces tienen unos niveles de acuerdo aceptables con los valores de ID obtenidos. Por lo tanto, con el fin de minimizar los efectos del juez en los concursos morfológicos y para obtener unas puntuaciones más fiables, la verificación de las puntuaciones otorgadas por los jueces que actúan en ellos debería realizarse sistemáticamente, excluyendo las puntuaciones que discrepan considerablemente con los demás. En este sentido, Stachurska et al. (2005) propusieron la eliminación de las puntuaciones de los jueces con un ID superior al 20%. También sería necesario que los jueces detallasen las causas de cada puntuación para describir los rasgos de conformación, con lo que se espera que atendiendo a causas más objetivas se pueda ampliar la escala de puntuación que los jueces usan para evaluar la morfología, ya que cuando la conformación se evalúa globalmente, las preferencias de los jueces juegan un papel importante en la puntuación final obtenida por los animales (Rustin et al., 2009), y por lo tanto los resultados de estos concursos son un juicio de valor y no una descripción neutral de la conformación de los ejemplares. En consecuencia, se considera necesario desarrollar un nuevo sistema para proporcionar evaluaciones más precisas y uniformes que puedan ser utilizadas en las valoraciones genéticas de la conformación de los animales para ayudar a los ganaderos en las decisiones de cría (Foster et al., 1989).

SISTEMAS OBJETIVOS

Los sistemas objetivos de evaluación morfológica son los más adecuados para ser utilizados en los programas de mejora de las diferentes razas, dado que las variables utilizadas como criterios de selección sólo poseen el error de la propia medición, pero están libres del error aportado por la subjetividad del evaluador. Entre los sistemas objetivos, hay métodos clásicos como la zoometría utilizando bastones y cintas zoométricas, y hay otras metodologías basadas en la utilización de videografía o sistemas videográficos en tres dimensiones.

ZOMETRÍA

El tamaño y la conformación corporal son rasgos críticamente importantes en casi todas las razas de caballos y se encuentran presumiblemente sujetas a un estricto proceso de selección a través del tiempo (Brooks et al., 2010). La evaluación de la conformación es importante tanto para la mejora de las características de los équidos de una forma continuada y sistemática, como para garantizar la calidad racial de los ejemplares (López et al., 2000). En este sentido,

las medidas zoométricas nos aportan una gran cantidad de información objetiva sobre la conformación de los animales, referente a las diferentes regiones corporales (dimensiones y proporciones), pudiéndose basar la caracterización racial de las poblaciones en un estudio zoométrico exhaustivo.

Utilizando medidas zoométricas tomadas en una muestra de caballos de PRE, en el artículo de esta Tesis titulado: ***“Relationship between morphology and performance: signature of mass-selection in Pura Raza Español horse”*** se estudió la evolución morfológica del PRE durante los últimos treinta años. Los valores de las alzadas, las longitudes y los perímetros registrados durante los tres períodos analizados (intervalos de tiempo de diez años correspondientes al tiempo promedio del intervalo generacional en esta raza) fueron similares a los obtenidos en estudios anteriores por Gómez et al., (2009) y Molina et al., (1999) en la misma raza. Se comprobó que se ha producido un aumento ininterrumpido en las medidas zoométricas que podría deberse a la mejora de la alimentación y el manejo de los animales, así como a la presión selectiva de los ganaderos en la búsqueda de animales de mayor tamaño, ayudada por la normativa de la raza, que no establece un límite superior para el tamaño de los caballos para ser inscritos en el registro definitivo. De hecho, en la última modificación de la normativa de la raza (año 2012) se estableció un límite inferior de 154 cm para los sementales y 152 cm para las yeguas para poder ser inscritas en el registro definitivo del LG.

Si analizamos cuidadosamente la evolución de la conformación del PRE, podemos observar que en el caso de los sementales, la alzada a la cruz media es mayor que algunas razas de deporte europeas (Lipizzano, Pura Raza Árabe, Noriker, Pura Sangre Inglés y Pura Raza Menorquina) y americanas (Marchador, Mangalarga, Cuarto de Milla, Paint Horse y Apaloosa) (Zechner et al., 2001; Druml et al., 2008; Pinto et al., 2008; Bakhtiari and Heshmat, 2009; Cervantes et al., 2009a; Petlachová et al., 2012; Solé et al., 2013). No obstante, en el trabajo de (Petlachová et al., 2012), las alzadas obtenidas en distintas razas de deporte (Cuarto de Milla, Paint horse, Apaloosa Lipizzano y Old Kladruby), fueron similares a las del PRE analizado en nuestro trabajo.

Sin embargo, comparando con otras razas europeas participantes en competiciones de Doma Clásica como el Caballo Belga de Sangre Caliente, Hannoveriano, Holsteiner, Caballo Irlandés de Deporte, Oldenburgoés, Caballos Sueco de Sangre Caliente, Trakehner y Old Kladruby (Holmström et al., 1990; Brooks et al., 2010; Petlachová et al., 2012), el PRE tenía una alzada inferior.

Analizando la evolución de otras medidas zoométricas podemos determinar que la longitud del cuerpo aumentó menos que la altura a la cruz durante los treinta años estudiados, lo que ha modificado la proporcionalidad del cuerpo de esta raza a una forma más cuadrada. El diámetro dorso-esternal aumentó en ambos sexos y el perímetro del tórax aumentó notablemente los primeros veinte años también en ambos sexos. En los últimos diez años estudiados, el perímetro del tórax se ha reducido en ambos sexos, en proporción con la evolución de la anchura de pecho. Así mismo, y coincidiendo con trabajos anteriores (Molina et al., 1999; Sadek et al., 2006; Gómez et al., 2009b) las yeguas PRE presentaron mayores perímetros del tórax que los sementales de esta raza.

OTROS MÉTODOS

Las medidas zoométricas no son fáciles de obtener utilizando métodos clásicos como la cinta métrica, el compás de espesores o el bastón zoométrico, ya que para su correcta determinación el animal debe permanecer en estación, correctamente aplomado y no extrañar los aparatos y manipulaciones a las que se les someten. De ahí que los datos disponibles suelen referirse a muestras pequeñas, que no siempre son representativas de la población o la raza en estudio. Esto ha motivado que se pongan a punto otras metodologías basadas en las nuevas tecnologías que nos permiten obtener registros objetivos de la morfología del caballo de manera más sencilla.

Aunque sin duda, de las nuevas metodologías de análisis de imágenes, el método más usado en estudios de conformación es la videografía. Este análisis permite la cuantificación de los patrones de movimiento a través de variables temporales, de distancia y angulares. Las variables temporales describen el tiempo, el ritmo y la regularidad del tranco. Las variables de distancia describen la longitud del tranco y las distancias entre las ubicaciones de las extremidades. Las variables angulares describen los ángulos formados según la posición de los huesos y las articulaciones durante el movimiento. La videografía permite analizar la cinemática del caballo, encargada del estudio del movimiento de los animales y de sus características geométricas (lineales, angulares y temporales), sin analizar las causas o las fuerzas que lo producen (Guedes Dos Santos, 2008).

La utilización de métodos cuantitativos para el análisis de la locomoción equina presenta un conjunto importante de ventajas sobre la evaluación basada en la observación subjetiva de los aires de los animales. En este sentido, el sistema de análisis de movimiento mediante videografía es un método objetivo que ha sido utilizado para evaluar la calidad de los aires, tanto bajo condiciones experimentales como en condiciones de campo (Back et al., 1994; Clayton, 1995; Morales et al., 1998). Los datos obtenidos mediante esta metodología de control de rendimientos objetiva, pueden ser comparados entre sí, clasificados según su calidad y, además, pueden realizarse sobre ellos toda clase de análisis estadísticos y genéticos (Cano et al., 1999). Por otra parte, la posibilidad de identificar a edades tempranas animales con una calidad superior y su utilización en las valoraciones genéticas como predictores del futuro rendimiento funcional de los ejemplares, la convierten en una metodología ideal para aplicarla en los programas de mejora de las distintas razas equinas (Barrey et al., 2002; Ducro et al., 2007) ya que aportan una gran cantidad de información para la caracterización de la población y la selección de los futuros reproductores, en función de las características locomotoras que se quieran fijar en la población o en una ganadería concreta. Además, la evaluación de los aires de los animales, sin la influencia de un jinete que los controle, permite evidenciar las características propias de cada animal y diferenciar mejor los individuos genéticamente favorables de los desfavorables, sobre todo en lo que respecta al trote (Becker et al., 2011). En estudios experimentales, la videografía ha sido probada para aumentar aún más la objetividad de la información sobre la conformación y el rendimiento en caballos por las medidas lineales (Valera et al., 2008; Lewczuk and Ducro, 2012).

4.4 CALIFICACIÓN MORGOLÓGICA LINEAL (CML)

A pesar de los avances en las técnicas de medidas de la conformación animal, es preciso buscar y poner a punto métodos de evaluación rápidos, baratos y objetivos. En este sentido la CML está siendo el método de elección para evaluar la conformación en distintas razas de animales domésticos.

La CML se basa en la traducción del grado con que se manifiesta un determinado carácter morfológico en una escala de valores numéricos según el patrón fijado previamente. El sistema de calificación lineal se diseña para evaluar los rasgos individuales en una escala lineal, incluyendo toda la variabilidad existente en la población (Samoré et al., 1997). Este sistema de calificación con traducción directa entre medidas y clases suele ser complementado con otros datos morfológicos de carácter secundario (que no disponen de correspondencia directa con una medida zoométrica) que aportan información complementaria en cuanto al "carácter racial, funcional o de conformación" de los animales. Entre las ventajas que presenta el sistema CML cabría destacar que es:

- Descriptivo. La escala y el número de clases disponibles para cada rasgo permiten una máxima discriminación, informando del sentido de la desviación.
- Objetivo. Describe objetivamente al animal a través de una escala de clases, sin valorar subjetivamente sus características raciales.
- Reconvertible. Permite la reconversión a un sistema tradicional de valoración por puntos, asignando a cada clase una puntuación en función del ideal (patrón racial).
- Valoración de la aptitud funcional. La asignación de coeficientes de peso a cada rasgo, según su correlación con parámetros funcionales, y su combinación en índices puede permitir la valoración morfológica para una aptitud funcional.
- Flexible en el tiempo y el espacio. Permite la recalificación automática de los animales de una determinada época o lugar con una reordenación de los puntos asignados a cada clase.
- Positivo. Se centra en qué puede aportar cada animal a la mejora de la población, sin eliminar animales por que tengan un nivel de un carácter bajo y buenísimo para otros. Por lo que permite un mayor progreso genético.

Además la evaluación de los rasgos morfológicos individualmente, en lugar de en combinación (metodología clásica de evaluación regional por puntos), facilita la identificación de diferencias entre individuos (Koenen et al., 1995) y puede ser una herramienta para estimar el carácter corrector de cada animal para los distintos rasgos evaluados genéticamente.

4.4.1 SISTEMA DE CML EN EQUIDOS

En el sector equino, los sistemas de CML se comenzaron a diseñar y a aplicar a finales de los años 80. En la Tabla 1 se describen las características básicas para las razas disponibles en la bibliografía consultada.

Tabla 1. Características básicas de los sistemas de Calificación Morfológica Lineal en équidos.

País y raza	Esquema lineal	Resultados	Referencia
Holanda: Caballo Holandés de Sangre Caliente	40 clases EN 1 a 40 (incrementos de 1 clase) Nconf = 20 Nfun = 6 (P,T)	10.665 hembras (nacidas entre 1989-1993; de 3 a 7 años) $h^2_{conf} = 0,09-0,28$ $h^2_{fun} = 0,12-0,22$	(Koenen et al., 1995)
	40 clases EN 1 a 40 (incrementos de 1 clase) Nfun= 10 (P,T,G) NfunJ = 8 (SL)	36.110 caballos (nacidos entre 1992-2002; de 3 a 7 años; >80% hembras) $h^2_{fun} = 0,15-0,32$ $h^2_{fun.J} = 0,22-0,37$	(Ducro et al., 2007)
Suiza: Caballo Sueco de Sangre Caliente	9 clases EN 1 a 9 (incrementos de 1 clase) Nconf = 10 Nfun = 2 (P,T)	3.755 potros (concentración de potros 1991-1993) $h^2_{conf} = 0,14-0,34$ $h^2_{fun} = 0,09-0,32$	(Hascher, 1998)
	9 clases EN 1 a 9 (incrementos de 1 clase) Nconf = 19 Nfun = 5 (P,T)	2.026 caballos (pruebas de campo 1993-1995; 3 a 4 años) $h^2_{conf} = 0,12-0,50$ $h^2_{fun} = 0,16-0,39$	
Bélgica: Caballo Belga de Sangre Caliente	9 clases EN -20 a 20 (incrementos de 5 clases) Nconf = 27 Nfun = 6 (P,T)	987 hembras (nacidas entre 2003-2007; de 3 a 4 años) $h^2_{conf} = 0,15-0,55$ $h^2_{fun} = 0,33-0,52$	(Rustin et al., 2009)
Irlanda: Caballo Irlandés de Deporte, Caballo de Tiro Irlandés	5 clases ED Nconf = 19 Nfun= 5 (P,T)	413 caballos (PSCJ y en venta 2007-2008; de 4 a 5 años)	(Breen, 2009)
	9 clases EA (a a i) Nconf = 25	22 hembras (Pruebas de campo 2009) 207 (fotografías)	
Alemania: Hannoveriano	9 clases EN 1 a 9 (incrementos de 1 clase) Nconf = 24 Nfun = 4 (P,T)	521 hembras (nacidas entre 1987-1988) $h^2_{conf} = 0,02-0,74$ $h^2_{fun} = 0,20-0,48$	(Weymann, 1989)
Alemania: Caballos de Sangre Caliente Alemana (Brandenburgo, Mecklenburg, Saxony, Saxony-Anhalt, Thuringia)	9 clases EN 1 a 9 (incrementos de 1 clase) Nconf = 53 Nfun= 18 (P,T)	1.753 caballos (nacidos entre 1989-1990; 3 y 4 años) $h^2_{conf} = 0,12-0,50$ $h^2_{fun} = 0,11-0,39$	(Hartmann, 1993)

Holanda: Poni de shetland	41 clases EN 0 a 40 (incrementos de 1 clase) Nconf = 22 Nfun= 6	358 machos y 2337 hembras de 2 años nacidas en 1989 y 1990 $h^2_{conf} = 0,07-0,39$ $h^2_{fun} = 0,08-0,41$	(van Bergen and van Arendonk, 1993)
Alemania: Holsteiner	7 clases EN 1 a 7 (incrementos de 1 clase) Nconf = 9 Nfun= 1	407 potros (concentración de potros en 2010; de 0,5 a 6 meses)	(Drückes, 2010)
República Checa: Old Kladrub	9 clases EN 1 a 9 (incrementos de 1 clase) Nconf = 32	494 caballos en 2003, nacidos entre 1990 y 1995 $h^2_{conf} = 0,20-0,68$	(Jakubec et al., 2009)
Italia: Haflinger	11 clases EN 0 a 10 (incrementos de 1 clase) Nconf = 23 Nfun = 3	510 machos and 3392 hembras a los 30 meses $h^2_{conf} = 0,09-0,53$ $h^2_{fun} = 0,02-0,19$	(Samoré et al., 1997)
España: Pura Raza Español	9 clases EN 1 a 9 (incrementos de 1 clase) Nconf = 31	2.512 caballos mayores de 3 años $h^2_{conf} = 0,06-0,35$	(Sánchez et al., 2013)
España: Pura Raza Árabe	7 clases EN 1 a 7 (incrementos de 1 clase) Nconf = 48 Nfun= 10		(Cervantes et al., 2009b)
Alemania: Oldenburgoés (doma y salto)	7 clases EN 3 a 3 (incrementos de 1 clase) Nconf = 50 Nfun= 51 (P, T, G, B) NfunJ = 7 (SL)	83 machos de 3 a 4 años	(Kramer, 2012)
Suecia: Caballo Sueco de Sangre Caliente	9 clases EA a a i Nconf = 19 Nfun= 9 (P,T,G) NfunJ = 9 (SL)	86 caballos (PSCJ 2010; 3 años)	(Cadier, 2011)

N= número de variables; EA=escala alfabética de a hasta i; conf= conformación; ED= escala descriptiva; EN= escala numérica; func= funcionalidad relativa a los aires (P, paso; T, trote; G, galope) y comportamiento y manejabilidad (B); funJ= funcionalidad al salto (SL, salto libre); PSCJ= prueba de selección de caballos jóvenes.

La metodología lineal resulta mejor que un sistema subjetivo de valoración ya que se da un mejor uso de la escala que los sistemas de evaluación tradicionales (Breen, 2009), poniendo de relieve las diferencias entre los animales (Vostrý et al., 2009). Como se observa en la Tabla 1, en lo referente al tipo de escala lineal utilizada, la más usada es el de 9 clases, a pesar de que la similitud entre esta escala lineal y la escala de puntuación referente a la belleza tradicional (de 1 a 10) puede causar problemas de aplicación e interpretación (Duensing et al., 2014). En el caso del caballo PRE se escogió esta escala aunque se insistió mucho en las clases de preparación a las calificadoras para la disociación del concepto de belleza con la evaluación de los rasgos CML. De hecho se puede observar que en el caso del caballo PRE se usan casi todas las clases (de la 1 a la 9) cuando los calificadoras están midiendo rasgos lineales (Sánchez et al., 2013) y que, sin embargo cuando se juzgan los animales por su patrón racial se usa una escala inferior de clases (Sánchez et al.,

2014c). Aún así, y debido fundamentalmente al miedo que esta asociación con la escala tradicional asociada a la belleza, algunos autores usan una escala alfabética (de la A a la I), y otros han optado por escalas numéricas claramente distintas (de 20 o 40 clases), para minimizar el riesgo de interpretación errónea (Koenen et al., 1995).

4.4.2 VALORACIÓN GENÉTICA

La valoración genética relaciona la genealogía de todos los caballos con los valores numéricos de las expresiones fenotípicas de cada rasgo de conformación lineal, eliminando las variaciones que pudieran ser causadas por el medio ambiente, obteniendo finalmente un valor absoluto para cada caballo y carácter evaluado.

A pesar de que el sistema de CML es más objetivo que los sistemas clásicos de evaluación de la conformación (puntos otorgados por los jueces), la calidad de las evaluaciones genéticas depende de la veracidad de los datos recogidos y de la fiabilidad de los calificadores (Janssens et al., 2004). Por ello, aunque en la valoración genética de los caracteres de conformación procedentes de la CML no sería preciso incluir como factores fijos, en los modelos de valoración, el calificador o el concurso donde se realiza la calificación, sería conveniente testar distintos modelos para determinar el más adecuado en cada circunstancia. En este sentido, se han testado 5 modelos de valoración genética para el caballo de PRE que diferían en la inclusión o no del calificador y de la prueba (Navarro et al., 2012). El principal inconveniente encontrado es la confusión que se producía entre calificador y prueba, ya que en los 58 concursos analizados, participó un sólo calificador a excepción de la final (SICAB), en la que participaron dos calificadores diferentes. De acuerdo con los resultados obtenidos, se consideró que el modelo más adecuado a este tipo de datos es un modelo en que se tiene en cuenta como efectos fijos el sexo, la edad, la región de la ganadería y la combinación prueba-calificador.

Una vez decidido el mejor modelo de valoración genética, en el trabajo de la presente tesis doctoral titulado "*Genetic analyses for linear conformation traits in Pura Raza Español horses*" se realiza la estimación de los parámetros genéticos para los caracteres de conformación y se analiza la idoneidad de este sistema de CML para el PRE.

En la Tabla 2 se muestran las heredabilidades de los caracteres morfológicos calificados con metodología CML, en función de la raza y la región corporal. Las heredabilidades estimadas en esta raza oscilaron para los rasgos generales entre 0,18 para la fidelidad racial y 0,21 para la armonía. En el caso de la región de la cabeza y el cuello, las heredabilidades estimadas oscilaron entre 0,10 (anchura de la cabeza) y 0,35 (longitud de la cabeza). En la región del tronco, las heredabilidades variaron de 0,15 (longitud de lomo) a 0,24 (longitud de la espalda). Por último, para las variables analizadas en la región de la extremidad anterior el rango de variación fue de 0,07 (ángulo del hombro) a 0,31 (perímetro del hueso de la caña). En el conjunto de las poblaciones equinas estudiadas en la bibliografía consultada (Tabla 2), las heredabilidades estimadas para los rasgos generales oscilaron entre 0,12 (Caballo Suizo de Sangre Caliente) y 0,54 (Haflinger). Para variables de la región de la cabeza y el cuello, la heredabilidad osciló entre 0,04 (Haflinger) y 0,68 (Old Kladrub); para la región de la espalda y la cruz, el rango de heredabilidades obtenidas osciló entre 0,05 (Haflinger) y 0,54 (Caballos Alemanes de Sangre Caliente); en la región del tronco, las heredabilidades variaron de <0,01

(Old Kladrub) a 0,55 (Caballo Belga de Sangre Caliente) y para las extremidades y la grupa, las heredabilidades oscilaron entre 0,01 (Old Kladrub) y 0,74 (Caballos Alemanes de Sangre Caliente). Como se puede observar, los niveles de heredabilidad obtenidos para el caballo PRE se encuentran dentro del rango de las otras razas, no destacando en ninguna región en el límite superior ni inferior.

Tabla 2. Heredabilidades (valores comprendidos entre paréntesis) de caracteres de conformación obtenidos en base a la información recopilada mediante la aplicación de la Calificación Morfológica Lineal, en función de la región corporal y la raza

Raza	Región corporal					Referencias
	Rasgos Generales	Cabeza Cuello	Espalda Cuello	Tronco	Extremidades	
1	-	N=4 (0,12-0,21)	N=4 (0,16-0,20)	N=5 (0,15-0,28)	N=7 (0,09-0,23)	(Koenen et al., 1995)
2	N=2 (0,31-0,34)	N=1: 0,25	N=2 (0,14-0,19)	N=3 (0,18-0,25)	N=2 (0,16-0,18)	(Hascher, 1998)
3	N=1 (0,12)	N=5 (0,08-0,28)	N=4 (0,09-0,15)	N=5 (0,14-0,25)	N=4 (0,13-0,25)	
4	-	N=5 (0,10-0,39)	N=3 (0,26-0,27)	N=5 (0,18-0,35)	N=10 0,07-0,31	(van Bergen and van Arendonk, 1993)
5	N=3 (0,29-0,53)	N=6 (0,04-0,26)	N=3 (0,05-0,15)	N=4 (0,09-0,27)	N=7 (0,09-0,31)	(Samoré et al., 1997)
6	N=1 (0,43)	N=4 (0,11-0,68)	N=5 (0,05-0,17)	N=8 (0,00-0,43)	N=13 (0,01-0,47)	(Jakubec et al., 2009)
7	N=2 (0,17-0,20)	N=8 (0,09-0,35)	N=3 (0,14-0,23)	N=4 (0,06-0,22)	N=14 (0,08-0,30)	(Sánchez et al., 2013)
8	N=2 (0,15-0,34)	N=5 (0,24-0,45)	N=4 (0,20-0,34)	N=6 (0,20-0,55)	N=10 (0,22-0,46)	(Rustin et al., 2009)
9	N=5 (0,26-0,37)	N=5 (0,08-0,53)	N=4 (0,19-0,54)	N=3 (0,07-0,18)	N=6 (0,06-0,74)	(Hartmann, 1993)

Donde: N= número de variables incluidas en cada grupo; 1= Caballo Holandés de Sangre Caliente; 2= Potros Suizos de Sangre Caliente; 3=Caballos de Silla de Sangre Caliente Suiza, 4=Poni de Shetland, 5= Haflinger, 6=Old Kladrub, 7= Pura Raza Español; 8= Caballo Belga de Sangre Caliente y 9= Caballos Alemanes de Sangre Caliente.

4.5 DOMA CLÁSICA

La Doma Clásica es una disciplina Olímpica basada en la armonía entre jinete y caballo a través de la cual se realizan una serie de movimientos de gran dificultad que aparecen indicados siguiendo un programa preestablecido llamado reprise. Los movimientos que el caballo ejecuta, aunque son naturales para el caballo, requieren grandes dosis de entrenamiento y preparación del binomio. Los caballos se desplazan lateralmente, giran sobre sí mismos, cambian de pie al galope y ejecutan aires de extrema dificultad y belleza, siempre observados por los jueces que les puntúan dentro de una pista de 20 m. x 60 m (RFHE, 2015a).

Según el reglamento actual de la Real Federación Hípica Española (RFHE, 2015b) La Doma tiene por objeto el desarrollo del caballo mediante el entrenamiento racional, metódico y equilibrado del caballo de forma que se vaya haciendo un atleta a disposición de su jinete. Como consecuencia de este entrenamiento el caballo se vuelve tranquilo, elástico, ágil y flexible, pero también confiado, atento y decidido, con lo que constituye un perfecto conjunto con su jinete. Estas cualidades se demuestran en: la franqueza y la regularidad de los aires; la armonía, la ligereza, la facilidad de los movimientos, la ligereza del tercio anterior y el remetimiento de los posteriores cuyo origen es debido a una impulsión, siempre activa, la sumisión a la embocadura con una descontracción total y sin tensión ni resistencia alguna. El caballo da así la impresión de manejarse por sí mismo, confiado y atento, obedece generosamente las indicaciones de su jinete, permaneciendo absolutamente derecho en todos los movimientos en línea recta y ajustando su incurvación a las trayectorias curvas. Su paso debe ser regular, franco y suelto, su trote libre, elástico, regular sostenido y activo y por último su galope regular, ligero y cadenciado. Las caderas deben siempre mostrarse activas a la menor indicación del jinete y por su acción, animan también a todas las partes del caballo. Gracias a la impulsión que muestra el caballo, siempre despierta, y a la flexibilidad de sus articulaciones, que ninguna resistencia paraliza, el caballo obedece de buen grado y sin dudar, y responde a las ayudas con calma y precisión, manifestando un equilibrio natural y armonioso, tanto físico como mental. En todo su trabajo, incluso en la parada, el caballo debe estar “en la mano” (se dice que un caballo esta “en la mano” cuando el cuello está más o menos elevado y arqueado según el grado de doma y la extensión o reunión del aire, y acepta la embocadura con un contacto ligero y suave y una completa sumisión). La cabeza debe permanecer en una posición estable y, por regla general, ligeramente por delante de la vertical, con una nuca flexible y en el punto más alto del cuello, y el caballo no opone ninguna resistencia a su jinete. La cadencia se aprecia en el trote y el galope, y es el resultado de la propia armonía que muestra un caballo cuando se mueve con regularidad bien marcada, impulsión y equilibrio. La cadencia debe mantenerse en los diferentes ejercicios de trote o de galope y en todas las variaciones de estos aires. La regularidad de los aires es fundamental en Doma Clásica. Los caballos de todas las razas pueden practicar y obtener los beneficios que la práctica de la Doma Clásica supone.

En la alta competición de Doma Clásica, los caballos más usados son los procedentes de las razas llamadas de "sangre caliente", como la Hannoveriana, la Trakehner, la Oldenburguesa, la Holandesa, la Danesa y otras procedentes del norte y centro de Europa ya que presentan, en general, unas excelentes condiciones atléticas y una mejor constitución para la realización de algunos ejercicios de esta disciplina, como los aires extendidos.

Los caballos de razas barrocas, como es PRE, el Pura Sangre Lusitano, el Lipizzano o el Frisón tienen más facilidad para realizar determinados ejercicios, destacando sus aires elevados y reunidos. La mejora en la cría de estas razas, especialmente el PRE y el Pura Sangre Lusitano, experimentada desde los años noventa del siglo XX está permitiendo que su presencia en las competiciones internacionales de alto nivel sea cada vez más abundante. En el siglo XXI, debido a las cada vez mayores exigencias atléticas para los caballos de Doma Clásica, las líneas de cría para las competiciones de salto y de doma en las razas europeas de sangre caliente se han aproximado mucho, siendo frecuente que hijos de un mismo semental destaquen unos en el salto y otros en la doma.

De acuerdo con la clasificación publicada por la Federación Mundial de Criadores de Caballos de Deporte, las razas que mejores resultados obtuvieron en competiciones oficiales de Doma Clásica de la Federación Ecuestre Internacional en 2014 fueron:

- 1) Holandés de Sangre Caliente
- 2) Hannoveriano
- 3) Westfaliano
- 4) Danés de sangre caliente
- 5) Oldenbúrgués
- 6) Rhineland horse
- 7) Sueco de Sangre Caliente
- 8) Trakehner
- 9) Holsteiner
- 10) Pura Sangre Lusitano
- 11) Caballos Belgas de Sangre Caliente
- 12) Caballos Polacos
- 13) Pura Raza Española

En la cual, el caballo PRE se encuentra en la décimo tercera posición del total de 39 razas contempladas por esta institución en 2014.

4.5.1 CONTROLES DE RENDIMIENTO PARA LA DISCIPLINA DE DOMA CLÁSICA

La mayoría de los criadores de caballos para el deporte buscan animales que puedan destacar en las competiciones deportivas de alto nivel. En toda Europa se realizan diferentes tipos de controles de rendimientos a animales jóvenes como herramienta para la preselección temprana de potenciales reproductores en las distintas razas. Estos controles de rendimiento oficiales tienen por objeto proporcionar información para la valoración genética de los ejemplares jóvenes y de sus antecesores, y ser un medio para seleccionar a edades tempranas animales con un destacable talento para el deporte.

Para lograr el progreso genético deseado, las heredabilidades de los parámetros registrados en los controles de rendimiento tienen que ser razonablemente altas. Así mismo, y dado que los resultados en los niveles avanzados de competición son el principal objetivo de mejora genética para la mayoría de las razas de caballos de deporte, también es de gran importancia que existan correlaciones genéticas positivas entre los resultados obtenidos por los animales en los controles de rendimientos realizados a edades tempranas y los posteriores resultados obtenidos en las pruebas deportivas en las que participen (Solé et al., 2015).

La evaluación genética de los caballos de deporte se lleva a cabo en muchos países. El enfoque puede tomar diferentes formas, ya sea la evaluación directa basada en resultados de la competición de adultos, o el uso de una medida indirecta de la actuación de los rasgos examinados en las pruebas de caballos jóvenes, o una combinación de ambos (Stewart et al., 2010). Los rasgos más comúnmente

utilizados para la evaluación de los caballos de deporte son los resultados de las competiciones y la clasificación de los caballos (Tavernier, 1991; Reilly et al., 1998; Posta et al., 2010), los puntos de penalización (Kearsley et al., 2008; Zurovacová et al., 2008) así como las ganancias anuales (Ricard and Chanu, 2001; Langlois and Blouin, 2004). Las organizaciones de cría utilizan principalmente los registros derivados de tres tipos de pruebas de control de rendimientos oficiales: las pruebas de rendimiento en centros de testaje, las pruebas de rendimiento en campo y los resultados de competición (Bruns, 2001). A pesar del gran intercambio de materiales genéticos existente entre los distintos países europeos, las similitudes y diferencias de los programas de cría en los diferentes países no están muy bien documentados (Koenen and Aldridge, 2002).

Las pruebas de control de rendimiento en centros de testaje suelen realizarse a caballos jóvenes (3-4 años de edad) que se están probando en condiciones uniformes (con la ventaja de eliminar la mayoría de los factores ambientales que puedan condicionar su rendimiento deportivo). En estos centros se reúnen la infraestructura y los medios necesarios para el desarrollo de las pruebas que permiten la comparación directa de los animales que compiten bajo un ambiente común. Por tanto, se pueden determinar las diferencias de tipo genético que existen entre ellos, siendo recomendable para el control de caracteres que por su baja heredabilidad son poco fiables a nivel de campo o bien cuando existe una gran dificultad en la separación de los efectos genéticos y los ambientales. Normalmente se realiza la calificación de los aires, la manejabilidad, el salto y en ocasiones también la conformación del animal. La duración del período de prueba varía considerablemente según la organización de criadores y el sexo de los animales. En Alemania y los Países Bajos, los sementales realizan una prueba que va de los 70 a los 100 días, mientras que las pruebas de estación de las yeguas duran entre 14 y 50 días. En otros países como Suecia, Hungría y Gran Bretaña, las pruebas en centros de testaje de ambos sexos, no duran más de ocho días. En general, las observaciones registradas en los centros de testaje para sementales tienen una alta heredabilidad (0,40-0,60) y una correlación genética alta (0,70 a 0,90) con los resultados obtenidos en competición (Ricard et al., 2000). Así mismo, la repetibilidad de estos resultados es generalmente alta, debido a las condiciones de ensayo tan uniformes que se consiguen. Sin embargo, en la práctica, los altos costes limitan en gran medida la proporción de animales que se someten a este tipo de pruebas. Aunque el número relativo de caballos probados es muy pequeño, la información obtenida es extremadamente relevante, siendo en ocasiones un requisito previo antes de que los sementales se aprueben para la cría en algunas razas.

Las pruebas de rendimiento en campo duran normalmente un día, con posibles repeticiones, y se utilizan para probar sementales jóvenes o yeguas jóvenes (por ejemplo, en Bélgica, Finlandia, Francia y Noruega). Una gran ventaja de este tipo de control de rendimientos es la gran cantidad de animales que se pueden analizar en un día. El número relativo de caballos probados en campo varía en gran medida entre las organizaciones y puede alcanzar hasta el 60% para las yeguas jóvenes de cría del LG en el caso del Hannoveriano (Bruns, 2001). En comparación con los controles de rendimiento realizados en los centros de testaje, las observaciones de las pruebas de campo (PC) tienen, por lo general, una menor precisión debido a un período de prueba más corto y más sesgo debido al pre-entrenamiento de los animales participantes en la ganadería propietaria. Los datos de las PC tienen una heredabilidad más baja (0,10-0,30) y una menor correlación genética con los

resultados de competición (0,65), en comparación con los datos de pruebas en centros de testaje (Ricard et al., 2000). Sin embargo, los animales controlados en PC suelen estar menos preseleccionados que los individuos participantes en las pruebas de rendimiento en centros de testaje.

Por último, la mayoría de las organizaciones utilizan los datos procedentes de las propias competiciones deportivas como una prueba adicional para sementales jóvenes, yeguas y caballos castrados. Un claro ejemplo de ello son las PSCJ en España, Francia y Bélgica, que incluyen una serie de competiciones en las que los caballos jóvenes, compiten agrupados en clases de edad y constituyen el criterio principal para la selección precoz de los reproductores. Las PSCJ consisten en un conjunto de pruebas para animales jóvenes previamente homologadas, cuyos resultados se incorporan a los programas de mejora de las diferentes razas participantes, en las condiciones que éstos determinen. Sus objetivos son verificar y completar la formación de base de los caballos jóvenes favoreciendo su aprendizaje; evaluar sus aptitudes naturales y mantener su buen estado físico; contribuir a la mejora de las razas a través de la selección de los futuros reproductores, gracias a la evaluación precoz de sus descendientes; desarrollar su potencial y sus cualidades en un medio idóneo; establecer unos criterios de puntuación y evaluación objetiva que permitan catalogar a los animales según sus méritos e incorporar sus resultados en los Programas de Mejora mediante el oportuno diseño de las conexiones genéticas entre las diferentes pruebas; facilitar la difusión y comercialización de los productos; ampliar la oferta de caballos para las diversas modalidades y permitir a los ganaderos la comprobación y el seguimiento de sus programas de cría y selección. En estas competiciones de Doma, Salto y Concurso Completo, el factor ambiental del jinete es recogido (Bruns, 2001; Bartolomé et al., 2008; Sánchez et al., 2014b). La ventaja de los datos recogidos durante la competición es la posibilidad de obtener grandes cantidades de datos a un coste relativamente bajo. Sin embargo, la principal desventaja es que los datos poseen una relativamente baja repetibilidad y las estimaciones de heredabilidad son a menudo bajas oscilando de 0,10 a 0,30 (Ricard et al., 2000; Bartolomé et al., 2013; Sánchez et al., 2014b). Otra desventaja es el hecho de que los datos de la competición, especialmente en los niveles superiores, sólo se pueden recoger a una edad adulta y los participantes suelen estar muy preseleccionados. En la Tabla 3, se presenta un resumen de las diferentes pruebas de control de rendimiento realizadas a los équidos en los diferentes países.

Según el estudio realizado por InterStallion (Bruns et al., 2004), los controles de rendimientos para caballos jóvenes son más eficientes para las valoraciones genéticas que las pruebas en centro de testaje (CT) debido a la mayor capacidad de análisis y menor coste para cada caballo testado. Se deben realizar a animales jóvenes de los distintos sexos (machos, hembras y castrados) para aumentar la fiabilidad de las valoraciones genéticas de sus progenitores. Adelantando la edad de evaluación de los caballos jóvenes en este tipo de pruebas es posible lograr valoraciones genéticas tempranas permitiendo así un mayor progreso genético, que con valoraciones basadas solo en resultados de competición para caballos adultos más experimentados.

Tabla 3. Pruebas de control de rendimientos oficiales realizadas a los équidos en los diferentes países.

País	Tipo de prueba	Edad (años)	Sexo	Duración (días)	Doma Clásica
Bélgica	PSCJa	4-7	H C M	365a	
Dinamarca	PC CT	3-4c	H C M	1-70	PC CT
Francia	PSCJa	4-6	H C M	365a	PSCJ
Alemania	PC CT PSCJa	3-4c	Ha,c Ca Ma	1-100	PC CT PSCJ
Irlanda	CTb PSCJ	3-5d	H M	1-365d	PSCJ
Holanda	PC CT	3-4c	H M	1-70	CT
Suecia	PC	3-5	H C M	1	PC
España	PSCJa	4-6	H C M	365a	PSCJa

Adaptada de Thorén et al. (2006) PSCJ=Prueba de Selección de Caballos Jóvenes; PC=Prueba de campo, CT=Centro de testaje; H=Hembra, C=castrado, M=Macho entero

^a Ciclos anuales donde los animales compiten divididos por clase de edad utilizados para fines de selección.

^b sólo sementales.

^c Mayoritariamente con 3-4 años y en menor medida a edades más avanzadas en pruebas de campo y centros de testaje.

^d Un día para las yeguas, durante al menos 1 año de sementales.

4.5.2 VALORACIÓN GENÉTICA PARA LA DISCIPLINA DE DOMA CLÁSICA

La mayoría de las razas europeas de caballos que participan en competiciones de Doma Clásica proceden de caballos versátiles utilizados en la agricultura y en la caballería. Como los caballos han sido gradualmente reemplazados por máquinas, el nuevo enfoque para los criadores de caballos se ha convertido en la funcionalidad (Graaf, 2004). El objetivo de las ganaderías de razas deportivas es criar un caballo competitivo en los niveles más avanzados en el deporte (Koenen et al., 2004). Se necesitan varios años antes de que un caballo de deporte llegue a su máximo nivel de rendimiento. Y se conseguiría poco progreso genético si se eligieran individuos para la cría sólo después de probarse en los altos niveles de competición, debido a que se produciría un intervalo generacional largo y una intensidad de selección baja. Por ello, el uso de los resultados de las competiciones de alto nivel como controles de rendimiento para la valoración genética puede conducir a predicciones sesgadas de los valores genéticos, ya que los animales son preseleccionados en base a su talento presupuesto para la disciplina deportiva. Por ello, las competiciones ordinarias se completan con las pruebas de rendimiento y/o competiciones para caballos jóvenes. Para la mayoría de las organizaciones, las PSCJ constituyen la base para las valoraciones genéticas y son un medio para encontrar caballos con capacidad para el deporte (Bruns, 2001).

La variación entre los países en los métodos de valoración genética de los caballos de deporte es amplia y, a menudo no está claramente definida (Bruns et al., 2004). En el cuarto artículo de esta Tesis titulado *“Modelling genetic evaluation for dressage in Pura Raza Español horses with focus on the rider*

effect” publicado en la revista *Journal of Animal Breeding and Genetics* se busca el mejor modelo de valoración genética para la disciplina de Doma Clásica en el caballo PRE en base a los resultados deportivos obtenidos en las PSCJ.

El método más comúnmente usando para la estimación de parámetros genéticos y los valores genéticos es La Mejor Predicción Lineal No Sesgada (comúnmente conocido como BLUP). El método BLUP fue utilizado por primera vez por Arnason (1980) en la cría del caballo islandés. La utilización de este método se extendió muy rápidamente. En general, la misma metodología se utiliza para realizar las evaluaciones de rutina en todos los países (Koenen and Aldridge, 2002). Normalmente, se utilizan modelos mixtos, utilizando Máxima Verosimilitud Residual (comúnmente conocido como REML) para estimar los componentes de varianza de efectos aleatorios (por ejemplo caballos el efecto ambiental permanente o el propio caballo). Después de estimar estos parámetros se utilizan los modelos animales BLUP para calcular los valores genéticos de todos los animales en el pedigrí. Un requisito para este análisis es que exista una conexión genética suficiente dentro de la población y por lo tanto un aspecto importante de las evaluaciones genéticas es tener un buen conocimiento del pedigrí y garantizar su integridad (Stewart et al., 2010). En las últimas décadas, varias metodologías de valoración genética se han aplicado en la cría del caballo de deporte en toda Europa. Y es que, aunque los valores genéticos se pueden utilizar para aumentar el rendimiento dentro de un programa de mejora genético, no son siempre bien aceptados por los criadores en la práctica. El uso de los valores genéticos se complica aún más si los criadores quieren utilizar los valores genéticos extranjeros, al existir escasa disponibilidad de información básica sobre los sistemas de valoración genética de los diferentes países.

Cada procedimiento de valoración genética incluye básicamente tres etapas consecutivas: (1) la recogida de la información, (2) la estimación de los valores genéticos usando un modelo genético-estadístico y (3) la publicación de los valores genéticos. La esencia de este procedimiento consiste en estimar los valores genéticos a partir de datos fenotípicos (controles de rendimiento y factores ambientales) y los datos genealógicos (relaciones genéticas entre los caballos en control y sus parientes). Los ocho países de la Unión Europea estudiados, aplican un modelo BLUP-animal, pero las diferencias en el número de rasgos evaluados y los efectos no genéticos incluidos para ajustar el modelo son importantes. Para la evaluación del Caballo Holandés de Sangre Caliente se combinan dos rasgos: resultados de la competición (nivel superior) y resultados en CT (por ejemplo, la puntuación de manejabilidad). El modelo alemán es el más complejo en cuanto a rasgos evaluados, ya que considera los resultados de la competición, de las pruebas de sementales y de las pruebas de yeguas de forma simultánea. Los principales efectos no genéticos en los modelos estadísticos son la edad y el sexo (el rendimiento aumenta en promedio con la edad y los sementales presentan, en promedio, mejores resultados que las yeguas). Otros modelos estadísticos también ajustan las observaciones registradas por los efectos de la ubicación, el concurso, el jinete, la combinación jinete-animal y el efecto ambiental permanente.

Desde el punto de vista genético, un carácter complejo, como es la aptitud deportiva, resulta de la intervención de numerosos genes que están implicados en diferentes etapas de la producción de un esfuerzo físico. La aptitud deportiva es consecuente de un carácter cuantitativo donde la expresión depende del genotipo y de las influencias del medio ambiente sobre el individuo. Por ello, para mejorar la

aptitud deportiva mediante selección, es necesario saber qué peso tiene el efecto genético transmitido por los progenitores. La heredabilidad nos indica el porcentaje de un carácter que puede transmitirse a partir de un reproductor a sus descendientes. En las pruebas de rendimiento de Doma Clásica las heredabilidades de los caracteres utilizados han oscilado entre 0,11 y 0,55 (Tabla 4)

Tabla 4. Heredabilidades para las puntuaciones registrados en los controles de rendimiento oficiales para Doma Clásica

Raza	Paso	Trote	Galope	Doma Clásica	Prueba	Referencia	
Caballo Holandés de Sangre Caliente	0,22	0,14	0,18		PC	(Huizinga et al., 1990)	
	0,73	0,65	0,54		CT	(Huizinga et al., 1991)	
				0,36	PC	(Van Veldhuizen, 1997)	
				0,35	CT		
				0,12	PSCJ	(Lührs-Behnke et al., 2002)	
	0,34	0,51	0,42	CT			
Razas Alemanas de Sangre Caliente	0,37	0,50	0,25		PC	(Ducro et al., 2007)	
	0,26	0,30	0,25		PC	(Uphaus et al., 1994)	
	0,20	0,23	0,54		CT		
	0,27	0,36	0,29		PC	(Schade, 1996)	
	0,25	0,37	0,33		CT		
	0,32	0,28	0,26		CT	(Jaitner and Reinhardt, 1993)	
					CT		
		0,43	0,50	0,47		CT	(von Velsen-Zerweck, 1998)
		0,27	0,36	0,35		PC	(Brockmann, 1998)
		0,34	0,45	0,36		CT	
Caballo Sueco de Sangre Caliente	0,27	0,37	0,27			(Wallin et al., 2003)	
	0,35-0,39	0,38-0,41	0,32-0,35		PC	(Gelinder et al., 2002)	
	0,45	0,34	0,28		CT	(Gelinder et al., 2001)	
				0,20-0,40	PC	(Philipsson et al., 1990)	
				0,08-0,10	PSCJ	(Braam et al., 2011)	
				0,11	PSCJ	(Viklund et al., 2010)	
Gran Bretaña (Razas de deporte Europeas)	0,46	0,37	0,39		CT	(Gerber Olsson et al., 2000)	
				0,11-0,15	PSCJ	(Stewart et al., 2010)	
PRE				0,22-0,54	PSCJ	(Sánchez et al., 2014b)	

PC=Prueba de Campo, CT= Centro de testaje y PSCJ= Pruebas de Selección de Caballos Jóvenes

En el trabajo incluido en esta Tesis Doctoral, el modelo testado que presentó un mejor ajuste para la valoración genética de caballos jóvenes PRE participantes en las PSCJ de Doma Clásica incluía: la edad, el sexo, la duración del viaje previo,

el entrenamiento previo, la ganadería y el propio concurso como efectos sistemáticos; y el jinete, la combinación jinete-caballo, el efecto ambiental permanente, el propio animal y el residuo como efectos aleatorios.

El objetivo final de la metodología BLUP en la predicción de los valores genéticos es la mejora genética de la población (Legarra et al., 2005). Por lo tanto, el acento se debe poner en la capacidad predictiva de los modelos, y es digno de mención que los modelos que incluyen la influencia del jinete de alguna manera aseguraron una mejor predicción que los que no incluían ni el jinete ni la combinación jinete-caballo. El efecto jinete se había incluido anteriormente en varios estudios de rendimiento deportivo del caballo, como un efecto fijo o aleatorio (Jaitner and Reinhardt, 1993; Aldridge et al., 2000; Kearsley et al., 2008; Gómez et al., 2011; Bartolomé et al., 2013). Sin embargo, este estudio ha sido el primero (que tengamos conocimientos) donde la importancia del jinete ha sido estudiada en una población de caballos desde el punto de vista de la capacidad de predicción. Los estudios previos habían indicado que la inclusión del jinete en los modelos mejoraba significativamente el ajuste del modelo a los datos (Kearsley et al., 2008; Bartolomé et al., 2013), lo que evidenciaba la importancia del jinete en el rendimiento deportivo del caballo, y hacía intuir la importancia del jinete en los modelos de valoración confirmando la creencia popular de que los caballos de igual valor genético tendrán mayores posibilidades de obtener puntuaciones altas en las competiciones, cuando estén guiados por buenos jinetes.

La variación en los sistemas de valoración genética, los modelos utilizados y la difusión de los resultados mediante su publicación debe ser accesible al ganadero. Para facilitar la debida utilización de los valores genéticos, tanto a nivel nacional como internacional, es necesario aclarar y objetivar varios aspectos. Así, aunque los objetivos de mejora de las diversas organizaciones de cría equina europeas incluyen definiciones similares de los rasgos deportivos, la información sobre las similitudes genéticas de los rasgos analizados no está disponible. Hasta ahora, la mayoría de los países sólo tienen en cuenta los datos nacionales en su valoración genética, es decir, se ignoran las observaciones sobre sementales exportados y/o de su descendencia si salen del país. Las observaciones en los niveles más altos, como Campeonatos del Mundo ó Juegos Olímpicos, casi nunca se consideran. Los estudios sobre las posibilidades y relevancia del uso de estos datos, así como de los factores incluidos en los modelos de valoración (la importancia del jinete o del concurso, por ejemplo) pueden ser un paso más para aumentar la calidad y la credibilidad de los sistemas de valoración genética. No obstante, hay que destacar que en el mundo del caballo, aunque con un evidente retraso respecto al vacuno lechero (Vesela et al., 2013), se están dando los primeros pasos (en caballos de salto) que permitan llevar a cabo una valoración conjunta en las razas que participan en más de un país (Ruhlmann et al., 2009; Furre et al., 2013). Destacar que todas estas razas cuentan en sus respectivos países con suficientes efectivos para llevar a cabo programas de mejora eficientes. Pero INTERSTALLION, fundado como un grupo de trabajo de la Federación Mundial de Cría de Caballos de Deporte, la Asociación Europea para la Producción Animal y el Comité Internacional de Registro de Animales está trabajando en la armonización de la información que se usará en la valoración conjunta para esta disciplina.

En España, tras la valoración genética de los ejemplares de PRE, la ANCCE edita un libro llamado ***“Catálogo de Reproductores para la Disciplina de Doma Clásica” / “Catalog of PRE Breeding Stock - 2014 Dressage and Eventing”***,

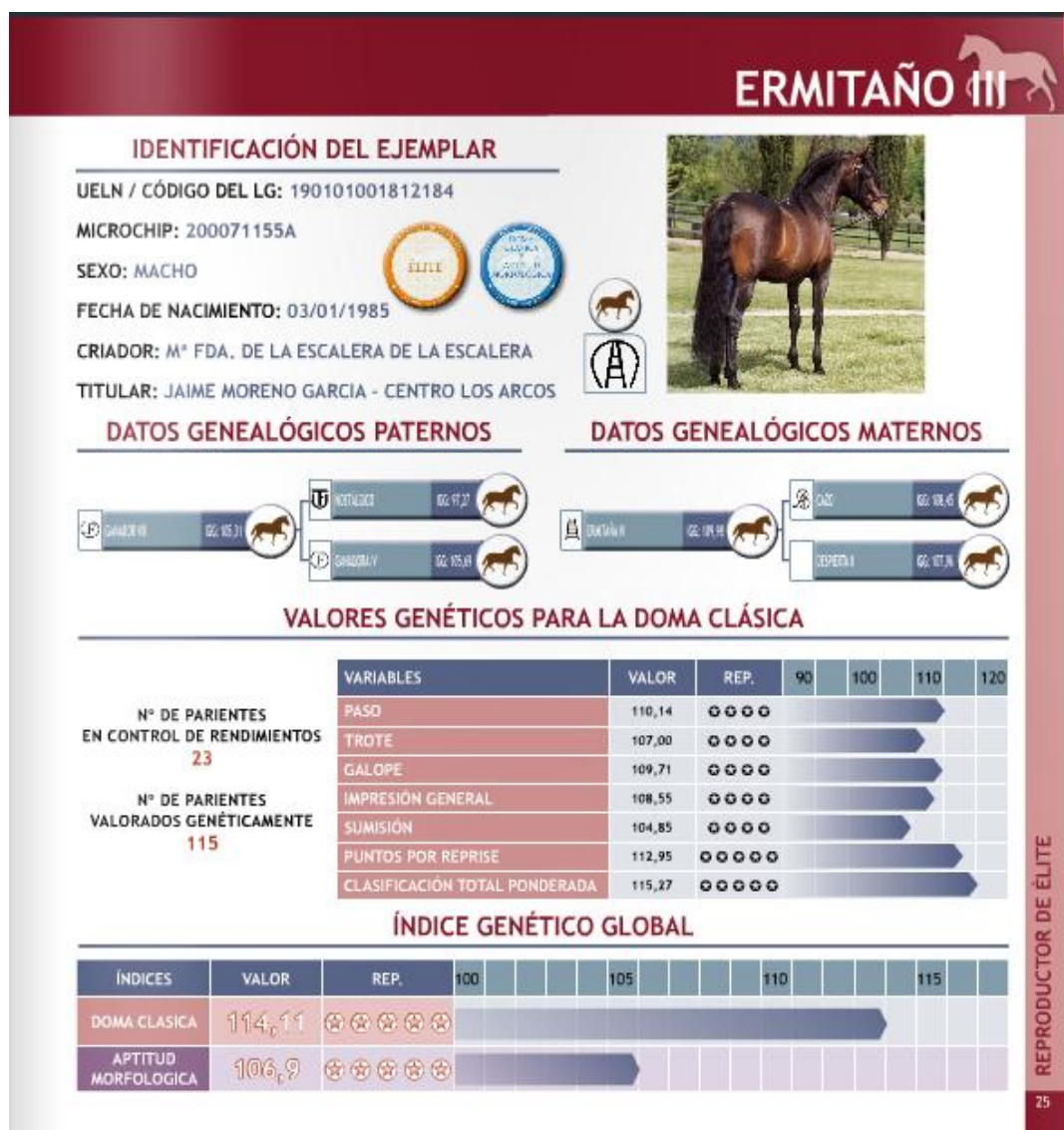
donde se divulga la valoración genética realizada para la disciplina de Doma Clásica (Figura 5).

Figura 5. Portada del Catálogo de Reproductores para la Disciplina de Doma Clásica. Año 2014



En la Figura 6 se muestra una hoja modelo de la información relativa a cada animal que se incluye en dicho catálogo de reproductores.

Figura 6. Ejemplo de la ficha modelo de un ejemplar Élite publicado en el catálogo de 2014



De manera que, en cada ficha se recoge la siguiente información:

- Datos identificativos: información procedente del LG de la raza. Estos datos son el nombre del ejemplar, sexo, microchip, código del LG, año de nacimiento, color de la capa, nombre del criador y del propietario.
- Datos genealógicos: información procedente del LG de la raza, que incluye los nombres de los antecesores del ejemplar hasta la segunda generación (padres y abuelos), sus capas y su índice genético (IG) que combina las variables en estudio para cada disciplina. Estos valores se han estimado a partir de los resultados obtenidos por el animal en valoración y todos sus parientes conocidos.
- Datos genéticos: valores genéticos de los animales que han obtenido una categoría genética para las diferentes variables estudiadas en la disciplina de Doma Clásica, paso, trote, galope, impresión general, sumisión, puntos por repise y clasificación total ponderada en los ejercicios de doma.

Además se muestra para cada ejemplar el número de parientes en control de rendimientos y el número de parientes valorados genéticamente.

4.6 RELACIÓN ENTRE MORFOLOGÍA Y FUNCIONALIDAD

Debido a que la forma del cuerpo define los límites del rango de movimientos, la funcionalidad del caballo y, en última instancia, su rendimiento (Mawdsley et al., 1996), la conformación es un factor de amplia importancia en la cría equina. La conformación, definida en el diccionario de la lengua española como “distribución de las partes que forman un conjunto”, ha sido utilizada como un importante indicador de la salud y del rendimiento del caballo, considerándose un factor muy importante en la cría y selección equina (Preisinger et al., 1991). El hombre ha criado caballos con diferentes fines, como la fuerza, la velocidad o simplemente la belleza, en función de sus necesidades (Edwards, 1992), produciendo una considerable divergencia entre la conformación de las distintas razas equinas (Cano et al., 2001), diferenciándose desde la morfología masiva y compacta de los animales traccionadores hasta la ligera y refinada de los velocistas.

Aunque los trabajos relevantes, desde el punto de vista científico, que analizan la relación entre conformación y funcionalidad en équidos, son escasos y relativamente recientes, nos encontramos a finales del siglo XIX autores como Muybridge (1899) y Marey (1882) que introdujeron el uso de la fotografía para el análisis de los aires en el movimiento equino. Este campo de estudio se convirtió en un tema popular en la investigación realizada en Alemania antes de la Segunda Guerra Mundial. Ejemplos de ello son los trabajos de Stratul (1922) y Radescu (1923), quienes estudiaron la relación entre la conformación y la funcionalidad de los caballos Pura Sangre Inglés, Bantoiu (1922) en caballos trotones o Nicolescu (1923) en caballos Hannoverianos. A finales del siglo XX, Holmström and Philipsson (1993) estudiaron la relación entre caracteres de conformación y resultados deportivos en caballos suecos de 4 años, concluyendo que existían correlaciones que iban desde moderadas a altas. Un sector pionero en el estudio de la relación morfología-funcionalidad es el de los caballos de Salto. Langlois et al. (1978) encontraron que, analizando la relación entre morfología y resultados deportivos en pruebas de Salto, los caballos dedicados al Salto debían ser altos, compactos y con buena amplitud al nivel de las espaldas y de las caderas para conseguir buenos resultados en las competiciones. Años después, Holmström (2001) señala que los caballos seleccionados para salto tienen el cuello significativamente más largo que los caballos de Doma Clásica o los caballos sin una aptitud funcional conocida. En el mismo año, Clayton (2001) volvía a incidir en la alzada a la cruz, pero esta vez como la característica morfológica más importante en la relación con la capacidad de Salto de los caballos. La alzada a la cruz es quizás una de las variables más estudiada a través de los años, y aunque hay autores que señalan una correlación entre ésta y problemas locomotores (Magnusson and Thafvelin, 1985; Baban et al., 2009), la mayoría de autores revelan una relación positiva con el rendimiento deportivo (Magnusson and Thafvelin, 1985) o las puntuaciones obtenidas en concursos morfológicos (Holmström and Philipsson, 1993). Para caballos trotadores, también se ha encontrado una relación positiva entre la alzada a la cruz y las ganancias en carrera (Dolvik and Klemetsdal, 1999). En el estudio de la relación de esta variable morfológica con los resultados en Doma Clásica existen conclusiones contradictorias. Mientras que Dusek et al. (1970) afirmaron que la alzada a la cruz no se correlacionaba con la longitud del tranco, Galisteo et al. (1998) estimaron

correlaciones significativas y altas con las longitudes de tranco y de sobrehuella y una influencia moderada sobre los parámetros angulares al trote, pero no encontraron relación con las variables temporales analizadas. Según nuestros resultados, la alzada a la cruz tuvo una relación significativa con la mayoría de las variables biocinemáticas (14 variables: 6 temporales, 4 lineales y 4 angulares), siendo de 0,55 la relación con la longitud del tranco del miembro torácico, coincidiendo la importancia que tiene la alzada de la cruz en la longitud del tranco con los resultados previos de Galisteo et al. (1998).

En el miembro torácico, los estudios han demostrado que una escápula más horizontal induce a este miembro a desarrollar un movimiento pendular hasta una posición más adelantada en relación al cuerpo, lo que se torna ventajoso tanto para caballos de Doma Clásica como de Salto (Holmström et al., 1990; Back et al., 1996). Según Back et al. (1996), los caballos con mayor inclinación de la escápula y menor ángulo del hombro, en relación a un ángulo más abierto del codo, tardan más en alcanzar la máxima extensión del codo, lo que contribuye para prolongar la fase de apoyo y favorece la reunión de los miembros torácicos. Sin embargo, Holmström (2001) indica que, más que la inclinación de la escápula en sí misma, la conjugación de esta característica con una cruz larga y bien destacada coloca al jinete más atrás, lo que favorece el equilibrio y permite que el caballo mueva los miembros torácicos más libremente, influyendo en la calidad del aire. Otro de los aspectos importantes en el miembro torácico parece ser la longitud del húmero, que presenta una de las correlaciones más elevadas con la calidad de los aires, en caballos jóvenes (Holmström y Philipsson, 1993). Holmström (2001) refiere incluso que los caballos de elite de Doma Clásica tienen el húmero significativamente más largo que los caballos de Salto o los caballos que no se usan con fines deportivos. El mismo autor afirma que, comparando objetivamente el movimiento de los miembros torácicos de distintos caballos, los dos factores que más varían son el ángulo del codo y el ángulo del carpo, flexionándose significativamente ambas articulaciones más en aquellos caballos con mejores calificaciones de los aires (en particular el codo, que se flexiona alrededor de 30° más en los caballos calificados como superiores). La importancia de la longitud del húmero podría entonces explicarse por su relación con un músculo tríceps más largo, lo que amplifica el rango de movimientos de la articulación del codo. Según Clayton (2005), la mayor flexión de la articulación del codo implica una elevación mayor del miembro en la posición de protracción máxima y una mayor altura del arco de vuelo del casco en los caballos con más calidad de movimientos. La misma autora defiende que en estos caballos también se observa una ligera flexión del carpo y de las articulaciones más distales en el momento de la máxima protracción del miembro, en contraste con el carpo extendido y las lumbres apuntando hacia arriba, que a veces se observa en caballos con menos calidad de movimientos. Las razas ibéricas tienden a exhibir más flexión del codo y del carpo durante la fase de vuelo que las razas de sangre caliente (Galisteo et al., 1997) y esta característica tiende a evolucionar positivamente con la edad (Cano et al., 2001).

Respecto al miembro pelviano, Clayton (2001) considera que la pelvis debe ser más inclinada en los caballos de Doma Clásica y más vertical en los caballos para Salto de Obstáculos. Un fémur largo e inclinado hacia delante es considerado deseable por Knopfhart (1966), Langlois et al. (1978) y Holmström (1996, 2001). La incapacidad de los cuádriceps de soportar el máximo peso obliga al caballo a cambiar la carga para los miembros torácicos, alterándose el equilibrio. (Magnusson and Thafvelin, 1985) encontró una correlación positiva entre el ángulo de la babilla

y los resultados deportivos. Estas mismas características fueron también asociadas a una mejor calidad de movimientos (Back et al., 1996), al presentar una menor retracción máxima y un menor rango de retracción-protracción en caballos con la pelvis más vertical y menores ángulos de la articulación de la rodilla. En general, existe una diferencia significativa entre los caballos con problemas recurrentes de cojeras y los demás, verificándose ángulos del corvejón menores en los primeros (Magnsson, 1985; Stashak, 1987; Back et al., 1996; Holmström, 2001). Según Back et al. (1996), la mayor abertura del ángulo del tarso está relacionada con amplitudes de tranco más largas, fases de vuelo más duraderas y un mayor ángulo de retracción-protracción, lo que contribuye a la mejor calidad de los aires. En cuanto a la articulación del menudillo y a la cuartilla, se consideran deseables ángulos de menudillo amplios y cuartillas largas (Holmström et al., 1990). Se ha demostrado que las cuartillas de los miembros pelvianos de caballos participantes en Doma Clásica o en concursos de Salto son más largas que las de los demás caballos, aunque no haya diferencias significativas en su inclinación (Holmström et al., 1990; Holmström, 2001).

Viendo todas estas relaciones entre variables morfológicas y funcionales, resulta evidente que un conocimiento insuficiente de la influencia de la conformación en el rendimiento deportivo y en la propia salud y bienestar del animal puede provocar una inadecuada selección de los reproductores para la cría (Holmström y Philipsson, 1993). Por lo tanto, cada vez son más los técnicos y los ganaderos que otorgan importancia a la correlación entre la morfología y la funcionalidad, frente a otros caracteres externos de los caballos, como pueden ser el color de la capa o el patrón de belleza. A este respecto, Cárdenas (2005), criador de caballos PRE, manifiesta fundamental la unión indisoluble de raza y funcionalidad: “Un ejemplar muy bello y dentro de la raza, pero que sin embargo resulte inútil o inepto en movimientos, no sirve para nada. Si los jueces de morfología no son capaces de poner en práctica este criterio, la raza está perdida”.

Aunque tradicionalmente los criadores de caballos PRE han seleccionado a sus animales desde el punto de vista de la conformación estética (ideal de belleza de la raza), en las últimas décadas se ha comenzado a valorar la conformación funcional y consecuentemente la creciente participación de la raza en pruebas deportivas de nivel nacional e internacional, ya que la eficiencia deportiva de los équidos es la principal demanda en todas las razas con cualquier propósito de uso (Halo et al., 2008). Para que el caballo PRE obtenga un reconocimiento internacional por sus cualidades deportivas, y al mismo tiempo el interés por su cría como caballo de deporte continúe en aumento, es necesario que sus participaciones en las pruebas de Doma Clásica vayan en aumento y que los resultados de participación continúen con una trayectoria ascendente. No hay que olvidar que la Doma Clásica es una modalidad que requiere, para que un caballo pueda competir al más alto nivel, un prolongado período de aprendizaje y entrenamiento, lo que conlleva al ganadero una inversión económica importante. La búsqueda de caracteres morfológicos que se encuentren indirectamente relacionados con el rendimiento deportivo para esta disciplina ecuestre y que permitan una selección precoz de los animales, puede ahorrar recursos al ganadero al permitir preseleccionar a los animales que realmente tengan capacidades deportivas. En general, en el sector ganadero equino se espera que la conformación de un caballo sea una indicación de rendimiento deportivo posterior. La selección indirecta para los rasgos funcionales (en el caso del caballo PRE especialmente para la Doma Clásica) con datos de conformación podrían ser útiles como indicadores precoces del rendimiento deportivo. La

eficiencia de la selección indirecta para el rendimiento depende de la variación genética de los rasgos de conformación y de las correlaciones genéticas entre los rasgos de conformación y características de rendimiento deportivo. Dada la importancia del caballo PRE en la cabaña equina española ya se han realizado numerosos estudios genéticos sobre su morfología (Molina et al., 1999; Gómez et al., 2009a, 2009b; Sánchez et al., 2013, 2014b, 2015) y sobre sus características funcionales (Molina et al., 2008, Valera et al., 2008, Sánchez et al., 2014a, 2014b). No obstante, el estudio genético de la relación entre los rasgos morfológicos lineales y los resultados en la prueba de rendimiento de Doma Clásica no había sido abordado en esta raza. Sólo los trabajos de Molina et al. (2008), Valera et al. (2008) y Sánchez et al. (2014b) realizan un análisis de la correlación genética entre caracteres morfológicos con variables biocinemáticas, aunque con un número reducido de animales. Como ya se ha comentado anteriormente, el inconveniente de estos trabajos es que en la actualidad las pruebas biocinemáticas son caras y no son accesibles a la mayoría de los caballos de la raza.

Solé et al. (2013) afirmó que el PRE muestra la mejor conformación para la Doma Clásica de tres razas ibéricas estudiadas (PRE, Lusitano y Pura Raza Menorquín). En general, las tres razas ibéricas mostraron buenas características en el movimiento y la flexión de las extremidades anteriores. Sin embargo, estos autores afirmaron que para lograr un nivel de rendimiento superior y ser más competitivo en el mercado de la Doma Clásica, probablemente el caballo PRE necesite mejorar genéticamente la capacidad funcional de sus miembros posteriores y los parámetros lineales (distancia del tranco y sobrehuella). En el mismo trabajo, se advertía que con el fin de desarrollar el proceso selectivo, resulta necesario verificar la relación entre las variables y el rendimiento de Doma Clásica con el fin de seleccionar los criterios de cría.

4.6.1 CARACTERES MORFOLÓGICOS Y DOMA CLÁSICA

En caballos de los que se espera un rendimiento deportivo, la evaluación objetiva de la conformación y su relación con el rendimiento funcional es de gran importancia (Moore, 2010), y el conocimiento insuficiente de la influencia de la conformación en el rendimiento puede dar como resultado una selección inexacta o tardía. La importancia del patrón locomotor está relacionada con el hecho de que para cada tipo de ejercicio, el caballo utiliza un tipo específico de locomoción, donde sus características individuales determinan el nivel de rendimiento que puede alcanzar (Leleu et al., 2005). Por ello, es más conveniente analizar la relación entre los rasgos morfológicos y el rendimiento de Doma Clásica en caballos jóvenes ya que éstos son juzgados, principalmente, en base a las propias características de sus aires básicos (Biau and Barrey, 2004). A pesar de que son muchos los trabajos que han puesto de manifiesto, desde el punto de vista fenotípico, la relación entre conformación y funcionalidad en los ejercicios de Doma Clásica (Barrey et al., 2002; Kattelans et al., 2013; Lashley et al., 2014; Greve and Dyson, 2015), son muy pocos los trabajos que han elaborado índices genéticos morfológicos para la preselección de caracteres funcionales, dado el reducido número de estudios morfológicos realizados en animales de competición y la complejidad en la elaboración de un índice genético basado en criterios morfológicos que proporcione una respuesta indirecta positiva sobre el rendimiento funcional. Recientemente, razas como el Pura Sangre Lusitano o el Trotador Finlandés han presentado un Índice de selección con los rasgos morfológicos más importantes para variables funcionales como el

tiempo de carrera o las ganancias en carreras de trote o Doma Clásica (Suontama et al., 2013; Vicente et al., 2014a).

Hasta ahora, la información es escasa sobre las relaciones genéticas existentes entre la morfología y el rendimiento en las pruebas Doma Clásica. Las pocas estimaciones que se han publicado hasta la fecha apuntan a una correlación genética entre los rasgos morfológicos y el rendimiento en los eventos de Doma Clásica que oscila entre baja y media (0,07-0,40) (Koenen et al., 1995, Wallin et al., 2003, Vicente et al., 2014b). Sin embargo, como los rasgos funcionales de los caballos se miden generalmente a una edad avanzada, se considera aceptado que, a pesar de que existan correlaciones genéticas medias-bajas, los rasgos morfológicos se pueden utilizar como criterio de selección temprano, cuando la selección está destinada a mejorar el rendimiento deportivo (Saastamoinen y Barrey, 2000). No obstante, un mismo rasgo de conformación puede ser ventajoso para mejorar una determinada característica de locomoción y perjudicial para otra (Back et al., 1996), ya que la conformación por sí misma no puede explicar la capacidad funcional de los caballos durante una prueba de Doma Clásica, en donde la inteligencia del animal, la capacidad de aprendizaje y la compenetración con el jinete juegan un papel fundamental. En nuestro trabajo las correlaciones genéticas oscilaron entre 0 (paso y el anchura de la cabeza) y 0,46 (galope - ángulo del hombro).

Como ya hemos indicado, uno de los principales objetivos de la cría de razas equinas debe centrarse en los rasgos de conformación (Jakubec et al., 2009), ya que el objetivo final es la consecución de un caballo con ciertas características de conformación que destaque por su rendimiento en el deporte (Belloy and Bathe, 1996). En el caso del PRE, cabe destacar que los ganaderos escogen intuitivamente los caballos para la Doma Clásica que se diferencian de los demás en las variables morfológicas: anchura del pecho, ángulo de la espalda, perímetro de la caña, longitud de la grupa y distancia isquion-babilla (Sánchez et al., 2015c). Para poder darle al ganadero una respuesta sobre qué variables debe escoger (más allá de su propia intuición) si quieren alcanzar una buena morfología para la Doma Clásica, se han elaborado por primera vez distintos Índice de Selección Morfológico para la Doma Clásica (ISMDC). Estos ISMDC podrían permitir una selección temprana de los animales que no acuden a las pruebas de Doma Clásica, ya que son muchos los PRE que pasan un control morfológico en comparación con los participan en controles funcionales como las PSCJ para la Doma Clásica. Por lo tanto, el objetivo principal de este estudio fue la selección de los rasgos de conformación más importantes a partir de 26 rasgos recogidos en la ficha de Calificación Morfológica Lineal. Las variables seleccionadas fueron:

- De la región de la cabeza: anchura de la cabeza, unión cabeza-cuello, forma de la línea superior del cuello y unión cuello-tronco. En este sentido, Holmström (2001) y (Lawrence, 2001) sugirieron que la buena inserción cabeza-cuello e inserción cuello-tronco eran más importantes que la longitud del cuello para la Doma Clásica, para lograr una buena conexión y flexión de la región del cuello y la cabeza con el tronco.
- Del tercio anterior: anchura del pecho y ángulo de la espalda. Los resultados de Holmström y Philipsson (1993) indican que los caballos de Doma Clásica de élite tienen la espalda más horizontal que los demás, y en las valoraciones de caballos de 4 años de edad se ha demostrado una correlación elevada entre la inclinación de la espalda y la

puntuación atribuida a los aires. La inclinación de la espalda en caballos de élite para la Doma Clásica juega un papel importante en los procesos de retracción y protracción de la extremidad anterior (Morales et al., 1998). Además, es sabido que la reunión en caballos de Doma Clásica está asociada a un alargamiento de la fase de apoyo del miembro torácico (Back et al., 1994; Holmström et al., 1995).

- Del tercio posterior: longitud de la grupa, ángulo de la grupa y distancia isquion-babilla. En nuestro trabajo (Sánchez et al., 2014d), la longitud de la grupa también resultó la medida más correlacionada con variables biocinemáticas del trote en cinta rodante (16 correlaciones genéticas significativas), siendo el rasgo que más estrechamente se correlacionaba con todas las variables analizadas. Trabajos previos demostraron la importancia de la grupa en el rendimiento deportivo. Así, en el caballo español de Pura Raza Árabe, se observaron las diferencias más significativas entre la morfología y la aptitud funcional para el Raid en el triángulo posterior (Cervantes et al., 2009a). Según Koenen et al. (1995), una grupa larga y angulada muestra una correlación muy estrecha con características de trote. Guedes (2008) también apuntó que la longitud de la grupa es un rasgo morfológico que se correlaciona estrechamente con las variables biocinemáticas al trote de caballos Pura Sangre Lusitano, con una importante correlación negativa con el máximo ángulo de protracción-retracción de las extremidades posteriores.
- Extremidades: ángulo lateral de la rodilla, ángulo frontal de la rodilla, perímetro de la caña, y ángulo del corvejón lateral. De acuerdo con Holmström (1996), en lo que respecta a las desviaciones de las líneas de aplomos, los defectos ligeros no son demasiado importantes para el caballo. Eso se confirma verificando que la frecuencia de los defectos de aplomos es igual tanto en caballos de 4 años de edad, como los que participan en nivel intermedio de competiciones de Doma Clásica y los que participan en Gran Premio. El mismo autor refiere que alrededor del 90% de los caballos de élite para la Doma Clásica presentan en los miembros pelvianos una ligera rotación hacia fuera, al nivel de la articulación de la cadera, aunque el miembro y el casco estén bien alineados. De acuerdo con el autor, esta rotación es normal y necesaria para que el caballo de Doma Clásica pueda ejecutar correctamente determinados ejercicios ya que se produce un espacio más amplio entre la babilla y el tronco del caballo. Sin embargo, la longitud de los miembros es un factor determinante para la amplitud del tranco: miembros más largos están asociados a trancos más amplios. Esto ocurre porque la masa corporal se desplaza más hacia delante durante la fase de apoyo y también porque los miembros más largos representan brazos de palanca más largos. Otros factores que influyen en la longitud del tranco son los rangos de movimiento articular en las regiones proximales de los miembros, que permiten que los miembros basculen sobre un arco más amplio (Clayton, 2005). Con respecto al corvejón, previamente no se observaron diferencias significativas entre el rango de variación del ángulo articular en caballos élite y caballos comunes, aunque los caballos de Doma Clásica tienden a tener ángulos ligeramente más amplios (Holmström, 2001). Solé et al. (2013) afirmaron que el PRE presenta una conformación no deseable para la Doma Clásica en el ángulo del tarso (<155,50), ya que aparentemente

es indeseable para el desarrollo de alta calidad de los aires, por una pérdida de elasticidad y amplitud en relación con el rendimiento para la Doma Clásica (Podhajsky, 1976).

Sin lugar a duda, la mejor opción es incluir como criterios de selección, en un índice genético para la Doma Clásica, variables funcionales para obtener una mejor respuesta. No obstante, es posible una preselección de los caballos solo con variables morfológicas combinadas en un índice de selección.

Así, la respuesta genética de rendimiento para los puntos por reprise (0,76), para las 5 variables parciales de Doma Clásica (0,04) y para los tres aires (0,03) fueron positivas, pero inferior utilizando solo rasgos morfológicos lineales como criterios de selección, que cuando se utilizaron como criterios solo rasgos de rendimientos (1,80, 0,16 y 0,14 respectivamente) o la combinación de criterios de rasgos de rendimiento y morfológicos (2,97, 0,16 y 0,15 respectivamente). Por lo tanto, estos resultados sugieren que es posible preseleccionar los individuos precozmente por su morfología, aunque carezca de una estima del valor genético de rendimiento para la Doma Clásica, usando un ISMDC, aunque con una respuesta menor que los caballos en los que se usa como criterio de selección su valor genético para la funcionalidad.

Para realizar los índices de selección, en estudios anteriores se utilizaron rasgos morfológicos más generales como aplomos o conformación general (Suontama et al., 2013; Vicente et al., 2014b). Es interesante observar que, en muchos de los estudios sobre la relación de conformación y rendimiento en las razas de carreras, los rasgos de conformación relacionados con la capacidad respiratoria (anchura de tórax y anchura mandibular) se destacaron como los principales factores determinantes para alcanzar el máximo rendimiento en lugar de parámetros ortopédicos (Afanasieff, 1930; von Lengerken and Werner, 1969; Weller et al., 2006). Quizás la conformación perfecta para la Doma, de existir, es una combinación de rasgos simples donde un pequeño cambio en uno afecte al resto y sea imposible obtener una alta respuesta. Además, en los resultados de competición de Doma existen una multitud de factores relacionados con el rendimiento deportivo que alcanzará el caballo siendo seguramente uno de los más importantes la interacción humano-animal en todas sus facetas. Por lo tanto, no se puede esperar que determinados rasgos de conformación individuales se puedan identificar siempre con un buen valor predictivo para el rendimiento del animal. Por todo ello, debemos ser conscientes de que, debido a la complejidad de la actuación, nunca seremos capaces de identificar los caballos deportistas de primer nivel basándonos solo en el análisis de la conformación (Weeren and Crevier-Denoix, 2006), pero sí que podemos predecir de una forma bastante exacta una buena capacidad funcional para el rendimiento en el deporte. Por ello, es importante que estos índices morfológicos para la selección de la funcionalidad se instauren de forma rutinaria en el programa de mejora de la raza para lograr un mayor progreso genético en aquellas variables relacionadas con la consecución de un mejor rendimiento deportivo.

4.7 PERSPECTIVA DE FUTURO DEL PROGRAMA DE MEJORA DEL CABALLO DE PURA RAZA ESPAÑOL

A través de los seis artículos que componen esta Tesis se han abordado fundamentalmente tres de los cinco objetivos específicos del programa de mejora del caballo de PRE (mejora de las características morfológicas de la raza; mejora de la conformación, entendiendo a ésta como la mejora de la morfología orientada hacia una determinada funcionalidad especialmente la Doma Clásica y la mejora del potencial funcional del caballo de PRE para las distintas disciplinas deportivas, fundamentalmente la Doma Clásica). Aunque no se han incluido en la presente Tesis Doctoral, en la actualidad hay dos artículos sometidos (Sánchez et al. 2015a, 2015b) que abordan los otros dos objetivos específicos del programa de mejora (obtención de animales sanos, que no posean defectos hereditarios, de acuerdo al patrón racial establecido en el caballo de PRE y el mantenimiento, y en su caso mejora, de las características de comportamiento).

Como se ha visto en el desarrollo de los capítulos anteriores, la práctica habitual de los ganaderos de caballos PRE consiste en la selección de los ejemplares como reproductores por su belleza respecto al ideal racial, basando la elección de estos animales en los resultados obtenidos en concurso morfológicos de belleza. Y aquellos ganaderos interesados en seleccionar caballos para competir en Doma Clásica eligen caballos que aunque poseen determinadas características morfológicas que difieren de la media de la población, no están sustentadas sobre una base científica que corrobore esta relación entre morfología y funcionalidad. Pero desde la instauración del programa de mejora en la raza el objetivo principal era la búsqueda de un caballo funcional que mantenga las características de belleza y temperamento que el PRE lleva asociadas. Para la consecución de este objetivo general se ha realizado un gran esfuerzo por parte de la asociación de criadores poniendo a punto un sistema de CML en esta raza, que proporciona una herramienta eficaz a los ganaderos, al permitirles seleccionar los caballos con una morfología más apta para el desempeño de la Doma Clásica (ISMDC). Esta herramienta cobra verdadera relevancia para los criadores que tienen como objetivo final criar potros con un mejor rendimiento funcional en comparación con sus padres, pero que no los llevan a las PSCJ y no tienen una estimación de su mérito genético para parámetros de tipo funcional. Aunque este ISMDC proporciona una estimación del valor genético funcional que un determinado animal posee resulta fundamental incentivar la participación de los potros en las PSCJ y merece la pena remarcar que estas pruebas funcionales proporcionan a los criadores una información única, fiable y objetiva sobre el valor de cría de sus caballos para el rendimiento deportivo, que les proporcionarán una mayor respuesta a la selección que el ISMDC. A pesar de la importancia de estos controles de rendimientos (PSCJ), la mayoría de los potros que nacen cada año (99,04% de media) no asisten a las PSCJ (Tabla 5).

Tabla 5. Número de animales nacidos entre 1998 y 2011, en función del sexo, número de caballos participantes en control de rendimiento (participando en Pruebas de Selección de Caballos Jóvenes para Doma Clásica y pruebas de Calificación Morfológica Lineal) y número de animales con categoría genética.

Año	Sexo	N	Participantes (N)		JRR (N)		Mejorante (N)	
			PSCJ	CML	Dom a	Conformació n	Doma	Conformació n
1998	H	3936	37	56				
	M	3658		50	4			1
1999	H	4369	2	78				1
	M	4081	88	98	14			2
2000	H	4606	4	128				
	M	4439	164	101	36			
2001	H	5068	1	157				
	M	5010	158	132	24		1	
2002	H	6011	8	195	4			
	M	5604	152	162	35		1	
2003	H	6539	12	228	4	20		2
	M	6303	174	195	26	14		1
2004	H	7362	3	278		20		
	M	7123	148	288	21	22		1
2005	H	8277	3	397	2	31		
	M	7728	121	337	17	9		
2006	H	8992	9	606	1	28		
	M	8610	134	389	16	17		
2007	H	9630	7	1016	2	27		
	M	9239	142	513	17	13		
2008*	H	10117	10	1588	1	27		
	M	9657	114	733	13	6		
2009	H	9941	9	2117		22		
	M	9614	90	1229	5	7		
2010	H	3551	8	1844				
	M	3304	55	1338				
2011	H	6558		1035				
	M	6360		730				

N: Número; PSCJ: Prueba de Selección de Caballos Jóvenes; JRR: Joven Reproductor Recomendado; CML: Calificación Morfológica Lineal; *Año en el que se implanto la Calificación Morfológica Lineal como prueba morfológica en los controles de rendimiento

Esta baja participación de los potros en las PSCJ, puede ser debida a que, a diferencia de otros sistemas de producción ganaderos, muchos criadores de caballos gestionan la cría como una actividad de ocio, con muy bajos requerimientos de nivel de beneficios (SLU, 2001). A este respecto tenemos a modo de ejemplo año 2014, donde 3.182 potros de 4 años se valoraron morfológicamente utilizando la ficha de

CML y solo 63 fueron participaron en PSCJ. Esta baja participación dificulta el progreso genético de la raza desde el punto de vista funcional. Coincidiendo con esta afirmación están los trabajos de Hugason et al. (1987) en el caballo Islandés, Huizinga et al. (1990) en el Caballo Holandés de Sangre Caliente, Philipsson et al. (1990) en el Caballo Sueco y Tavernier and Clerc (1994) en razas francesas. Incluso hay autores que defienden que sólo los caballos que se presentan a las pruebas de rendimiento deben dejar descendencia y contribuir en la mejora de la raza (Lawin, 2008). En este sentido, quizás podría ser una buena opción la propuesta limitar la inscripción anual de un determinado número de crías por semental, en función de su valoración genética y su nivel de fiabilidad. Premiando a los reproductores que hayan obtenido un elevado valor genético tanto para su conformación como para su aptitud para la Doma Clásica. De esta forma se fomentaría la utilización de aquellos reproductores con categorías genéticas, cosa que en la actualidad aún no se ve de forma clara en la raza (Tabla 6).

Tabla 6. Media del número de potros nacidos en función del sexo, año de nacimiento y categoría genética del progenitor.

Año nacimiento	Sexo	Hijos de Padres sin categoría genética (\bar{x})	Hijos de Padres "JRR" (\bar{x})		Hijos de Padres "Mejorante" (\bar{x})	
			Doma	Conformación	Doma	Conformación
<1998						163,88
1998	M	3,67	37,75			110,00
	H	3,79				
1999	M	3,56	34,93			274,00
	H	3,55				
2000	M	2,95	17,94			37,50
	H	3,17				
2001	H	2,78	27,46			
	M	2,53				
2002	M	2,14	12,71			103,00
	H	2,34				
2003	H	1,88	2,25	4,15		2,50
	M	1,71				
2004	M	1,32	15,10	25,27		40,00
	H	1,39				
2005	H	0,94	0,50	3,26		
	M	0,85				
2006	H	0,62	7,59	36,78		130,00
	M	0,57				
2007	H	0,39	3,00	13,41		
	M	0,37				
2008	H	0,22	3,12	5,62		
	M	0,25				
2009	H	0,09	0,69	4,00		
	M	0,13				

(\bar{x}): Número medio de descendientes; JRR: Categoría genética de Joven Reproductor Recomendado.

Resulta importante incrementar el número de descendientes de los animales con categoría genética para incrementar el progreso genético y acortar los intervalos generacionales. En la actualidad el largo intervalo generacional e intensidades de selección subóptimas (Philipsson et al., 1990; Niemann, 2009), siguen siendo unos fuertes condicionantes para que el progreso genético no sea tan rápido como en otras especies, debido principalmente a la falta de criterios de selección eficientes a las edades tempranas. Dubois and Ricard (2007) ya abordaron los problemas de los largos intervalos generacionales debido principalmente al tipo de controles de rendimientos realizados, proponiendo controles que permitieran una valoración genética precoz y alentando a los criadores a utilizar sementales jóvenes probados genéticamente pero limitando el número de descendientes de estos animales en función de su nivel de fiabilidad. Lógicamente el número de descendientes por animal se incrementará a medida que los animales alcanzaban categorías genéticas con más altas fiabilidades (Mejorantes o Élites) producto de realizar valoraciones tanto por méritos propios como por la descendencia (edad media de los padres superior a los 7-8 años). En esta misma línea se encuentra los estudios realizados por Hugason et al. (1987) en el caballo Islandés y por Huizinga et al. (1990) en el Caballo Holandés de Sangre Caliente, que concluyeron que para obtener una alta respuesta genética en el programa de cría se requiere un alto porcentaje de apareamientos entre sementales jóvenes intensamente seleccionado sobre la base las prueba de rendimiento. Hugason et al. (1987) propusieron que del 69% al 95% de las yeguas deberían ser cubiertas por sementales jóvenes evaluados por sus propias actuaciones deportivas (en España sería equivalente el JRR).

Por otra parte, Hugason et al. (1987) y Huizinga et al. (1990) mostraron que la selección de sementales desde un punto de vista genético basado en la progenie (Mejorantes o Élites) está limitada, ya que aumenta el intervalo generacional en la raza y consecuentemente disminuye el progreso genético, como consecuencia que los animales con categorías genéticas superiores entran en el plantel reproductivo con edades superiores a los 8 años. No obstante, la selección de los sementales con categorías genéticas superiores (valoración genética por la descendencia) puede resultar ser eficiente en condiciones específicas, aunque aumente el intervalo generacional, principalmente cuando se trabaja con caracteres con heredabilidades bajas (Ström and Philipsson, 1978) y cuando los objetivos de selección son resultados de competiciones (Bruns and Schade, 1998). En España, el aún bajo uso reproductivo que se hace de los reproductores con categoría genética denota una falta de política de promoción y una falta de confianza del ganadero en la selección de sus reproductores por su valor genético. A modo de ejemplo señalar que en 1990, 178 sementales de PRE han tenido más de 100 descendientes, pero sólo 12 poseían alguna categoría genética (5 JRR para la Doma Clásica, 3 JRR de Morfología para la Doma Clásica, 1 Mejorante de Doma Clásica y 6 Mejorantes de Morfología para la Doma Clásica). Es decir 166 animales, sin ninguna categoría genética, nacidos desde los años 90 han tenido más de 100 hijos. El uso que se hace de este tipo de reproductores, no probados genéticamente, nos alerta sobre la arbitrariedad en la elección del plantel de reproductores en las ganaderías de la raza y nos confirma la necesidad de maximizar la intensidad de la selección premiando a los caballos con categoría genética, con un mayor número de descendientes que puedan ser inscritos en el LG. Estas tasas reproductivas (número de descendientes inscritos) podrían motivar a los criadores y propietarios para incrementar los esfuerzos en participar en los controles de rendimientos funcionales y obtener animales valorados genéticamente que puedan optar a conseguir categoría genética.

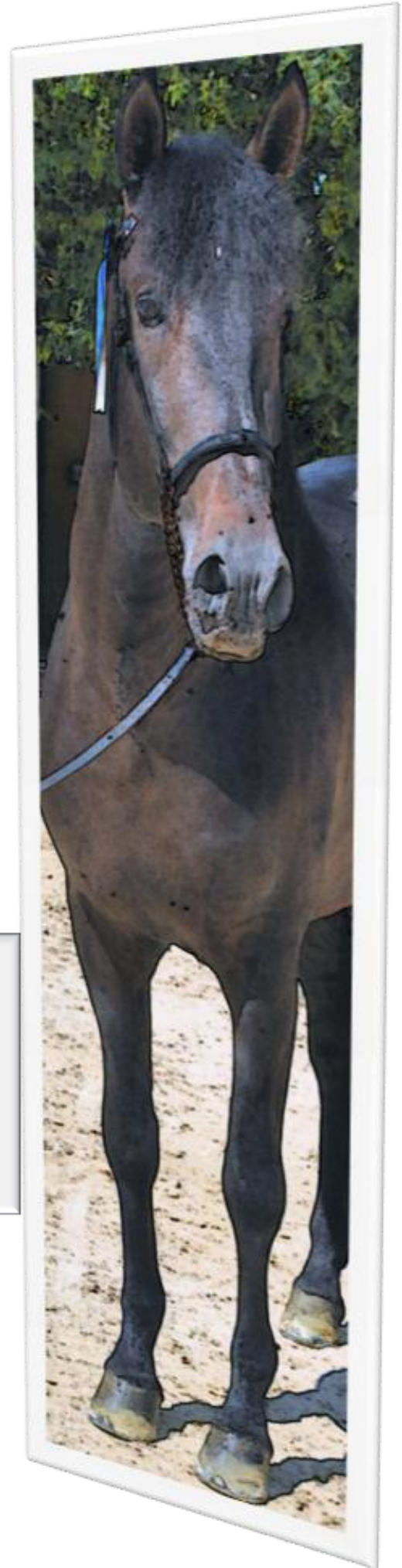
A pesar de los beneficios que reporta una alta intensidad de selección en el progreso genético de la raza, un problema que puede conllevar es el aumento de la consanguinidad en la población, motivado por la cría en línea con animales genéticamente superiores que aumenta la probabilidad de selección de parientes próximos. En la actualidad existen distintos métodos para reducir la endogamia manteniendo al propio tiempo tasas altas de ganancia genética. Para ello se debe seleccionar un número suficiente de reproductores (la tasa de consanguinidad depende del tamaño poblacional efectivo), no se debe sobreutilizar los machos Élite (delimitar el número de descendientes), se debe restringir el número de parientes cercanos seleccionados, limitar el número de potros nacidos de los mismos padres (uso masivo de transferencia de embriones) y evitar apareamientos entre hermanos completos o hermanastros. También habría que tener cuidado con el apareamiento selectivo, en donde los mejores machos se aparearan con las mejores hembras. Con todo ello procuraremos que el valor genético medio de la progenie nacida en la siguiente generación no varíe, pero si habrá más varianza entre estos descendientes. Cuando se incluyen múltiples caracteres en el objetivo reproductivo puede ser fácil el apareamiento selectivo, combinando las cualidades de distintos progenitores para los distintos caracteres. Para intentar optimizar estas decisiones de apareamiento y ayudar en la difusión de la mejora es fundamental un buen plan de fomento de los catálogos de reproductores. Estos catálogos deben de convertirse en la herramienta principal que el ganadero utilice en la elección de su plantel de reproductores, para lo cual deben de ser fácilmente interpretables y contener toda la información que pudiera resultar de utilidad a la hora de escoger un animal. En este sentido en los últimos catálogos (Sánchez et al., 2014a; Sánchez et al., 2014e) se ha mejorado la información recogida en los primeros catálogos de reproductores añadiendo valoraciones genéticas parciales, el número de parientes en control de rendimientos y el número de parientes evaluados genéticamente.

Para contribuir en la difusión de la mejora, mediante el uso reproductivo de los caballos con categoría genética recogidos en el catálogo de la raza es fundamental hacer uso de las tecnologías reproductivas, en especial la inseminación artificial para los sementales y la transferencia de embriones en yeguas que les permiten alcanzar altas tasas reproductivas. A pesar de estar permitido en esta raza tanto la transferencia de embriones como la inseminación artificial, se observa (Tabla 6) que las tasas reproductivas de los machos son muy superiores a las de las hembras. Para conseguir un uso habitual de estas técnicas reproductivas se debe incidir en la importancia de la creación de un banco de semen y óvulos de los animales con categoría genética, que al mismo tiempo permita ser un reservorio del material genético de esta raza.

En la actualidad se está trabajando en esta raza en la búsqueda de marcadores moleculares asociados con caracteres de interés en el programa de mejora. Se buscan genes candidatos, genes implicados en la fisiología de un carácter, que podrían, a través de una mutación, causar la variación de un carácter. La estrategia es secuenciar un gen en varios animales buscando marcadores moleculares y analizar si están asociados con el carácter de interés. El interés por el uso de los SNPs (Single Nucleotide Polymorphism) como marcadores moleculares se ha incrementado en los últimos años al ser más adecuados para el análisis genético masivo, es decir, el estudio simultáneo de miles de SNPs de diferentes genes utilizando la tecnología e los Chips de ADN. En caballos se están comercializando Chips de ADN para más de 65.000 SNPs. Se espera que en un futuro cercano, cuando exista una asociación entre SNPs y caracteres funcionales, fisiológicos, morfológicos

o productivos, a través de una muestra de sangre, pelo o incluso saliva de un potro, se le realizaría un análisis utilizando estos chips e indicaría el perfil genético de ese animal para multitud de caracteres. No obstante, esta metodología posee una serie de ventajas e inconvenientes: el principal inconveniente es que se necesita un proceso largo de investigación y puesta a punto para cada raza equina. La ventaja es que, una vez que esto está puesto a punto, permite realizar una selección directa de forma rápida y eficiente, ya que nos permitirá obtener fiabilidades más altas a edades más tempranas. Hasta que se pongan a punto estos chips de ADN y se utilicen de forma rutinaria, podemos realizar test genéticos, que nos permiten escoger futuros reproductores capaces de transmitir a la descendencia aquellos caracteres de interés económico, como los de rendimiento deportivo.

Conclusiones
Conclusions



5. CONCLUSIONES

Conclusiones del CAPÍTULO I

Artículo 1. Livestock Science (Sometido).

- 1) Nuestros análisis muestran que las características de conformación del Pura Raza Español han evolucionado con el tiempo, mientras que el dimorfismo sexual existente se ha mantenido constante a lo largo de las últimas tres décadas.
- 2) En la población actual, los caballos Pura Raza Español seleccionados para la Doma Clásica difieren de los caballos que no han sido seleccionados para ello en las medidas morfológicas (fueron significativos más alto y más largo). Estas diferencias podrían estar relacionadas con una morfología que el ganadero considera favorable para la capacidad funcional de desarrollar ejercicios de Doma Clásica.

Artículo 2. International Journal of Agriculture and Biology, 16 (3), 557-563.

- 3) La morfología de los caballos, de acuerdo el ideal de belleza de la raza, no se puede medir objetivamente. Se debería detallar las puntuaciones describiendo minuciosamente los rasgos de conformación y sus defectos y virtudes calificables, haciendo hincapié en el uso de la escala numérica completa que usan los jueces. Para ello, la formación de los jueces resulta fundamental para garantizar la validez de los registros morfológicos respecto al ideal de belleza recopilado.
- 4) La manera más efectiva de mejorar la calidad de las puntuaciones dadas en los concursos morfológicos no consiste en aumentar el número de jueces que participan en cada evento, sino en estimar y verificar sus resultados. Es importante señalar que se deberían eliminar los puntos de los jueces con un ID superior al 20%, ya que se asume que estos jueces no están de acuerdo con el ranking establecidos por el conjunto de jueces.

Conclusiones del CAPÍTULO II

Artículo 3. Livestock Science Volume 157, Issue 1, 57-64.

- 5) Los parámetros genéticos obtenidos indican que el sistema de Calificación Morfológica Lineal es capaz de generar información de calidad sobre los rasgos de conformación distinguibles en la escala en la población de caballos Pura Raza Español.
- 6) La escala utilizada en el sistema de Calificación Morfológica Lineal presenta suficiente variabilidad para representar toda la variación biológica en la población. Los calificadores lineales usan la escala de manera repetible y las 31 variables analizadas son reproducibles. Sin embargo, aunque los datos actuales respecto al calificador y a los rasgos usados parecen adecuados, la formación de los calificadores podría mejorar la uniformidad, y por lo tanto es altamente recomendable.

- 7) Debido a sus correlaciones genéticas ($r_{g \geq 0,90}$), algunos rasgos fuertemente correlacionados como la distancia isquion-babilla y la longitud de la grupa podrían estar representados por una sola variable.
- 8) Las magnitudes de las heredabilidades y las correlaciones genéticas indican que la selección es factible y los rasgos de conformación del caballo pueden ser mejorados con un programa de selección adecuado basado en la evaluación genética para los diferentes rasgos lineales. Los estudios futuros buscarán la combinación de los rasgos que se encuentren más relacionados con la Doma Clásica con el fin de desarrollar un índice de selección genética que contribuirá a la mejora del rendimiento del caballo mediante la selección precoz de rasgos morfológicos.

Conclusiones del CAPÍTULO III

Artículo 4. Journal of Animal Breeding and Genetics, 131 (5), 395-402.

- 9) Ignorar el efecto del jinete afecta negativamente a las evaluaciones genéticas en Doma Clásica. La controversia sobre la inclusión del jinete y/o de la interacción jinete-caballo va a continuar siendo de gran importancia en el mundo de las competiciones ecuestres.
- 10) El mejor modelo genético estudiado, para predecir los resultados de Doma Clásica en caballos Jóvenes, incluye el efecto ambiental permanente, el jinete y el binomio jinete-caballo como efectos aleatorios. Estas conclusiones ayudarán a optimizar el diseño de registro del rendimiento en Doma Clásica del Pura Raza Español y también pueden ser utilizados para las pruebas con otras competiciones de caballos y poblaciones.

Conclusiones del CAPÍTULO IV

Artículo 5. Archiv Tierzucht 56 (1), 137-148.

- 11) La mayoría de las medidas zoométricas analizadas están correlacionados genéticamente con algunas variables biocinemáticas al trote. Por lo tanto, su inclusión en el programa de cría de una raza, como el caballo Pura Raza Español, estaría recomendada. Esto aseguraría la aplicación de una selección indirecta y precoz de los animales sobre la base de las mediciones de conformación objetivas.
- 12) De acuerdo con nuestros resultados, las relaciones de los rasgos de conformación entre sí y con las variables biocinemáticas al trote muestran que es importante estudiar la alzada a la cruz, la longitud de la grupa, la anchura grupa, el perímetro de la rodilla, el perímetro del corvejón y el perímetro del tórax con el fin de hacer una y selección indirecta precoz de la calidad de la marcha del caballo Pura Raza Español. Estas variables podrían ser incluidos directamente o combinan en índices corporales.

Artículo 6. Journal of Animal Science (sometido).

- 13) Los resultados obtenidos en este estudio coinciden con los estudios anteriores e indican que el sistema de Calificación Morfológica Lineal se utiliza de una manera correcta. El sistema de puntuación de Doma Clásica podría ser revisado con el fin de utilizar toda la gama.
- 14) Las magnitudes de heredabilidades indican que la selección es factible ya que son adecuados para ser incluidos en una evaluación genética. Debido a su estrecha relación, la selección indirecta podría llevarse a cabo utilizando los rasgos morfológicos lineales seleccionados. El rendimiento de Doma Clásica se podría mejorar con un programa de selección adecuado en base a la evaluación genética morfológica (aunque solo un 30% de la respuesta que se podría conseguir usando como criterios de selección los caracteres de Doma Clásica). Estas conclusiones ayudarán a optimizar el programa de cría de los caballos Pura Raza Español y podrán ser utilizadas también para otros razas de caballos.

CONCLUSIONS

CHAPTER I:

Paper 1. Livestock Science (submitted).

- Our analyses show that the conformation characteristics of the Pura Raza Español have evolved over time, while the existing sexual dimorphism has remained more or less constant over the past three decades.
- In the current Pura Raza Español population, horses selected for dressage differ from horses not selected for dressage by their measurements (Dressage horses were significant taller and longer). These differences could be related to morphology that the breeder considers more suitable for the functional capacity of carrying out Dressage exercises.

Paper 2. International Journal of Agriculture and Biology, 16 (3), 557-563.

- The morphology of horses as regards the ideal of beauty of the breed can not be measured objectively. Scores should be noted down in detail, describing meticulously the conformation traits and qualifying defects and virtues, emphasizing the use of the full numerical scale by the judges. To achieve this, the training of judges is essential to ensure the validity of the morphological measurements collected in relation to the ideal of beauty.
- The best way to improve the quality of scores in morphological events is not to increase the number of judges involved in each event, but to estimate and verify their results. Most importantly, the points given by judges with a difference over 20% should be ruled out, as it can be assumed that these judges do not agree with the ranking established by the panel of judges.

CHAPTER II:

Paper 3. Livestock Science Volume 157, 1, 57-64.

- Genetic parameters obtained indicate that the Linear Morphological Qualification system is able to generate good quality information on the distinct features of the scale in the Pura Raza Español population.
- The scale used has sufficient variability to represent all biological variation in the population. The linear judges used the scale in a

repeatable way and the 31 traits analyzed are reproducible. However, even though current data on judges and the characteristics used seem to be adequate, the training of the judges could lead to improved uniformity, and it is therefore highly recommended.

- Due to their genetic correlations ($r_{g} \geq 0.90$), some strongly correlated traits such as distance and stifle isquion-rump length could be represented by a single trait.
- The magnitudes of the heritabilities and genetic correlations indicate that selection is feasible and the horse's conformation traits can be enhanced with a suitable selection program based on genetic evaluation for different linear traits. Future studies will try to find the combination of traits most closely related to dressage in order to develop a breeding index which will contribute to improving the performance by selecting morphological traits.

CHAPTER III:

Paper 4. Journal of Animal Breeding and Genetics, 131 (5), 395-402.

- Ignoring the rider effect affects the genetic evaluations in dressage adversely. The controversy over the inclusion of the rider and/or horse-rider interaction will continue to be of great importance in the world of equestrian competitions.
- The best genetic model studied to predict outcomes of young dressage horses includes permanent environmental effect, the rider and the horse-rider binomial as random effects. These findings will help optimize design performance record in dressage for the Pura Raza Español and can also be used for testing other horse competitions and populations.

CHAPTER IV:

Paper 5. Archiv Tierzucht 56 (1), 137-148.

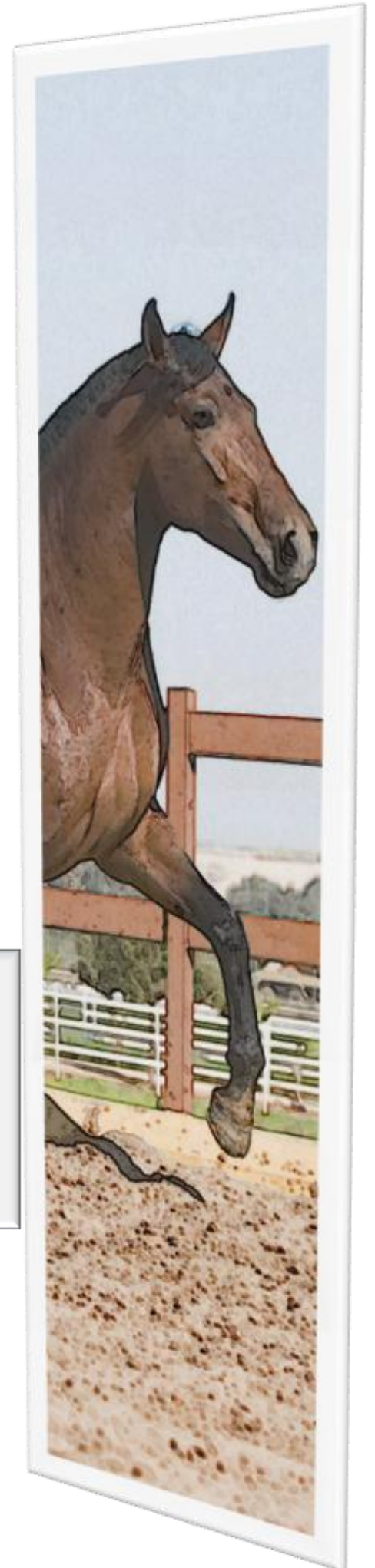
- Most of the zoometric measures analyzed are genetically correlated with certain trotting biokinematic traits. Therefore, its inclusion in the breeding program of a breed, such as the Pura Raza Español, would be highly recommended. This would ensure the application of an early, indirect selection of animals on the basis of objective conformation measurements.
- According to our results, the relationship of conformation traits between themselves and with the biokinematic variables at the trot show that it is important to study the height at the withers, the length of the rump, rump width, knee perimeter, hock perimeter and chest perimeter in order to make an early indirect selection and quality of

the Pura Raza Español horse in movement. These variables could be included directly or included in body indices

Paper 6. Journal of Animal Science (submitted).

- The results obtained in this study are consistent with previous studies and indicate that the linear morphological classification system is used in a correct way. The Dressage scoring system could be revised in order to use the full range.
- The magnitudes of heritability in both types of traits indicate that the selection is possible as they are suitable for inclusion in a genetic evaluation. Due to their close relationship, the indirect selection could be performed using the selected linear morphological traits, and Dressage performance could be improved with a suitable selection program based on morphological genetic evaluation (although only 30% of the answers obtained using Dressage traits as a selection criteria). These findings will help to optimize the breeding program of Pura Raza Español horses and could also be used for other breeds of horses.

Referencias Bibliográficas



6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Afanasieff, S. 1930. Die Untersuchung des Exterieurs, der Wachstumsintensität und der Korrelation zwischen Renngeschwindigkeit und Exterieur beim Traber. *Z. Tierz. Zücht. Biol.* 18:171-209.

Aldridge, L. I., D. L. Kelleher, M. Reilly, and P. O. Brophy. 2000. Estimation of the genetic correlation between performances at different levels of show jumping competitions in Ireland. *J. Anim. Breed. Genet.* 117:65-72.

ANNCE. 2014. Presentado en el Ayuntamiento de Sevilla el Cartel Oficial del Salón Internacional del Caballo, SICAB 2014. Available from: http://www.ance.es/movil/noticias_ver.php?orden=1101&inicio=

Arnason, T. 1980. Genetic studies on Icelandic toelter horses (estimation of breeding values). In: 31st Annual Meeting of the European Association of Animal Production. Munich, Germany.

Azor, P. J., L. J. Royo, I. Álvarez, M. Valera, I. Fernández, J. Gómez, J. P. Gutiérrez, A. Molina, and F. Goyache. 2006. Preliminary assessment of the genetic relationships among Spanish horse breeds via molecular Coancestry information. In: K. BAKKOURY, M. DAKKA, editor. PROCEEDINGS 9TH CONGRESS OF THE WORLD VETERINARY EQUINE ASSOCIATION. RABAT. p. 425-426.

Azor, P. J., M. Valera, M. D. Gómez, F. Goyache, and A. Molina. 2007. Genetic characterization of the Spanish Trotter horse breed using microsatellite markers. *Genet. Mol. Biol.* 30:37-42.

Baban, M., I. Curik, B. Antunovic, M. Cacic, N. Korabi, and P. Mijic. 2009. Phenotypic Correlations of Stride Traits and Body Measurements in Lipizzaner Stallions and Mares. *J. Equine Vet. Sci.* 29:513-518.

Back, W., A. Barneveld, G. Bruin, H. C. Schamhardt, and W. Hartman. 1994. Kinematic detection of superior gait quality in young trotting warmbloods. *Vet. Q.* 16 Suppl 2.

Back, W., H. C. Schamhardt, and A. Barneveld. 1996. The influence of conformation on fore and hind limb kinematics of the trotting Dutch Warmblood horse. *Pferdeheilkunde* 12:647-

Bakhtiari, J., and G. Heshmat. 2009. Estimation of genetic parameters of conformation traits in Iranian Thoroughbred horses. *Livest. Sci.* 123:116-120.

Bantoiu, C. 1922. Messungen an Trabern und die Beurteilung der Leistungsfähigkeit auf Grund der mechanischen Verhältnisse. Berlin.

Barrey, E., F. Desliens, D. Poirrel, S. Biau, S. Lemaire, J. L. Rivero, and B. Langlois. 2002. Early evaluation of dressage ability in different breeds. *Equine Vet. J. Suppl.*:319-324.

Bartolomé, E., I. Cervantes, M. D. Gómez, A. Molina, and M. Valera. 2008. Influencia de los factores ambientales en el rendimiento deportivo del caballo en pruebas objetivas de rendimiento funcional (Salto de Obstáculos). *ITEA Inf. Tec. Econ. Agrar.* 104:262-267.

Bartolomé, E., a. Menéndez-Buxadera, M. Valera, I. Cervantes, and a. Molina. 2013. Genetic (co)variance components across age for Show Jumping performance as an estimation

- of phenotypic plasticity ability in Spanish horses. *J. Anim. Breed. Genet.* 130:190-198.
- Becker, A.-C., K. F. Stock, and O. Distl. 2011. Genetic correlations between free movement and movement under rider in performance tests of German Warmblood horses. *Livest. Sci.* 142:245-252. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2011.08.001>
- Belloy, E., and A. P. Bathe. 1996. The importance of standardising the evaluation of conformation in the horse. *Equine Vet. J.* 28:429-430.
- van Bergen, H. M. J. M., and J. A. M. van Arendonk. 1993. Genetic parameters for linear type traits in Shetland Ponies. *Livest. Prod. Sci.* 36:273-284.
- Biau, S., and E. Barrey. 2004. Relationship between stride characteristics and scores in dressage tests. *Pferdeheilkunde* 20:140-144.
- Braam, Å., A. Näsholm, L. Roepstorff, and J. Philipsson. 2011. Genetic variation in durability of Swedish Warmblood horses using competition results. *Livest. Sci.* 142:181-187.
- Breen, E. 2009. A comparison of judging techniques and conformation traits in Irish draught horses. University of Limerick, Ireland.
- Brockmann, A. 1998. Entwicklung einer Eigenleistungsprüfung im Feld für Hengste unter Berücksichtigung der Turniersportprüfung. Dissertation. Göttingen.
- Brooks, S. A., S. Makvandi-Nejad, E. Chu, J. J. Allen, C. Streeter, E. Gu, B. McCleery, B. A. Murphy, R. Bellone, and N. B. Sutter. 2010. Morphological variation in the horse: defining complex traits of body size and shape. *Anim. Genet.* 41 Suppl 2:159-65.
- Bruns, E., A. Ricard, and E. P. C. Koenen. 2004. Interstallion - on the way to an international genetic evaluation of sport horses. Bled.
- Bruns, E., and W. Schade. 1998. Genetic Value of various performance test schemes of young riding horses. In: 6th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Armidale, Australia.
- Bruns, E. 2001. Berücksichtigung von Merkmalen der Gesundheit in der Züchtung von Sportpferden. *Arch. für Tierzucht* 44:119-127.
- Cadier, A. C. 2011. Horses scored with two judging systems; a comparison of results. Van Hall Larenstein University of Applied Science, Wageningen, The Netherlands.
- Cano, M. R., F. Miró, J. Vivo, and A. M. Galisteo. 1999. Comparative Biokinematic Study of Young and Adult Andalusian Horses at the Trot. *J. Vet. Med. Ser. A Physiol. Pathol. Clin. Med.* 46:91-101. Available from: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0043131877&partnerID=tZ0tx3y1>
- Cano, M. R., J. Vivo, F. Miró, J. L. Morales, and A. M. Galisteo. 2001. Kinematic characteristics of Andalusian, Arabian and Anglo-Arabian horses: a comparative study. *Res. Vet. Sci.* 71:147-53.
- Cárdenas, M. A. 2005. Ganadería de Pura Raza Español de Cárdenas. Available from: <http://www.caballoscardenas.com/>
- Cervantes, I., R. Baumung, A. Molina, T. Druml, J. P. Gutiérrez, J. Sölkner, and M. Valera. 2009a. Size and shape analysis of morphofunctional traits in the Spanish Arab horse. *Livest. Sci.* 125:43-49.

- Cervantes, I., M. D. Gómez, E. Bartolomé, M. J. Sánchez, M. Solé, A. Molina, and M. Valera. 2009b. Calificación Morfológica Lineal en el caballo de Pura Raza Árabe. Grupo de Investigación MERAGEM.
- Cervantes, I., F. Goyache, A. Molina, M. Valera, and J. P. Gutiérrez. 2008. Application of individual increase in inbreeding to estimate realized effective sizes from real pedigrees. *J. Anim. Breed. Genet.* 125:301-310.
- Cervantes, I., F. Goyache, A. Molina, M. Valera, and J. P. Gutiérrez. 2011a. Estimation of effective population size from the rate of coancestry in pedigreed populations. *J. Anim. Breed. Genet.* 128:56-63.
- Cervantes, I., J. M. Pastor, J. P. Gutiérrez, F. Goyache, and A. Molina. 2011b. Computing effective population size from molecular data: The case of three rare Spanish ruminant populations. *Livest. Sci.* 138:202-206.
- Clayton, H. M. 1995. Comparison of the stride kinematics of the collected, medium, and extended walks in horses. *Am. J. Vet. Res.* 56:849-852.
- Clayton, H. M. 2001. Performance in equestrian sports. In: W. Back and H. Clayton, editors. *Equine Locomotion*,. Saunders, U.K. p. 193-226.
- Clayton, H. M. 2005. The force plate: established technology, new applications. *Vet. J.* 169:15-6.
- Deloitte. 2013. ANALISIS DEL IMPACTO DEL SECTOR ECUESTRE EN ESPAÑA.
- Demyda-Peyrás, S., G. Anaya, M. Bugno-Poniewierska, K. Pawlina, A. Membrillo, M. Valera, and M. Moreno-Millán. 2014. The use of a novel combination of diagnostic molecular and cytogenetic approaches in horses with sexual karyotype abnormalities: a rare case with an abnormal cellular chimerism. *Theriogenology* 81:1116-22.
- Demyda-Peyrás, S., A. Membrillo, M. Bugno-Poniewierska, K. Pawlina, G. Anaya, and M. Moreno-Millán. 2013. The use of molecular and cytogenetic methods as a valuable tool in the detection of chromosomal abnormalities in horses: a case of sex chromosome chimerism in a Spanish purebred colt. *Cytogenet. Genome Res.* 141:277-83.
- Dolvik, N. I., and G. Klemetsdal. 1999. Conformational traits of Norwegian cold-blooded trotters: Heritability and the relationship with performance. *Acta Agric. Scand. - Sect. A Anim. Sci.* 49:156-162.
- Drückes, A. 2010. Analyse der linearen Beschreibung ausgewählter Exterieurmerkmale am Beispiel der Fohlenbonitur des Holsteiner Zuchtverbandes. Germany University of Kiel.
- Druml, T., R. Baumung, and J. Sölkner. 2008. Morphological analysis and effect of selection for conformation in the Noriker draught horse population. *Livest. Sci.* 115:118-128.
- Dubois, C., and A. Ricard. 2007. Efficiency of past selection of the French Sport Horse: Selle Français breed and suggestions for the future. *Livest. Sci.* 112:161-171.
- Ducro, B. J., E. P. C. Koenen, J. M. F. M. van Tartwijk, and H. Bovenhuis. 2007. Genetic relations of movement and free-jumping traits with dressage and show-jumping performance in competition of Dutch Warmblood horses. *Livest. Sci.* 107:227-234.
- Duensing, J., K. F. Stock, and J. Krieter. 2014. Implementation and prospects of linear

- profiling in the warmblood horse. *J. Equine Vet. Sci.* 34:360-368.
- Dusek, J., H. Ehrlein, W. Von Engelhardt, and H. Hörnicke. 1970. Relationships between length of steps, frequency of steps and speed of horses. *J Anim Breed Genet* 87:177-188.
- Edwards, E. H. 1992. *El gran libro del caballo*. Ed. El País/Aguilar, 9.
- Foster, W. W., A. E. Freeman, P. J. Berger, and A. Kuck. 1989. Association of Type Traits Scored Linearly with Production and Herdlife of Holsteins. *J. Dairy Sci.* 72:2651-2664.
- Furre, S., Å. Viklund, B. Heringstad, J. Philipsson, and O. Vangen. 2013. Improvement in the national genetic evaluation of warmblood riding horses by including information from related studbooks. *Acta Agric. Scand. Sect. A – Anim. Sci.* 64:49-56.
- Galisteo, A. M., M. R. Cano, J. L. Morales, J. Vivo, and F. Miró. 1998. The influence of speed and height at the withers on the kinematics of sound horses at the hand-led trot. *Vet. Res. Commun.* 22:415-423.
- Galisteo, A. M., J. Vivo, M. R. Cano, J. L. Morales, F. Miró, and E. Agüera. 1997. Differences between breeds (Dutch Warmblood vs Andalusian Purebred) in forelimb kinematics. *J. Equine Sci.* 8:43-47.
- Gelinder, A., A.-C. Skoglund, A. Nasholm, and J. Philipsson. 2001. Relationships between stallion performance test results and sport results in dressage and show jumping. In: 52nd Annual Meeting EAAP. Budapest.
- Gelinder, A., E. Thoren, A. Nasholm, and J. Philipsson. 2002. Relationships between test results at 3 and 4 years of age for Swedish riding horses. In: World Congress Genetics Applied to Livest. Prod.,. Montpellier. p. 375-378.
- Gerber Olsson, E., T. Árnason, A. Näsholm, and J. Philipsson. 2000. Genetic parameters for traits at performance test of stallions and correlations with traits at progeny tests in Swedish warmblood horses. *Livest. Prod. Sci.* 65:81-89.
- Gómez, M. D., F. Goyache, A. Molina, and M. Valera. 2009a. Sire × stud interaction for body measurement traits in Spanish Purebred horses. *J. Anim. Sci.* 87:2502-2509.
- Gómez, M. D., A. Molina, A. Menendez-Buxadera, and M. Valera. 2011. Estimation of genetic parameters for the annual earnings at different race distances in young and adult Trotter Horses using a Random Regression Model. *Livest. Sci.* 137:87-94.
- Gómez, M. D., M. Valera, A. Molina, J. P. Gutiérrez, and F. Goyache. 2009b. Assessment of inbreeding depression for body measurements in Spanish Purebred (Andalusian) horses. *Livest. Sci.* 122:149-155.
- Graaf, K. 2004. *Den svenska varmblodshästens historia under 200 år . Avelsföreningen för Svenska varmblodiga hästen och Nationella stiftelsen för hästhållningens främjande.* Avelsföreningen för Svenska varmblodiga hästen och Nationella stiftelsen för hästhållningens främjande.
- Greve, L., and S. Dyson. 2015. A longitudinal study of back dimension changes over 1 year in sports horses. *Vet. J.* 203:65-73.
- Groeneveld, E., M. Kovac, and N. Mielenz. 2010. *VCE. Users's Guide and Reference Manual Version 6.0.*

- Guedes Dos Santos, R. 2008. Caracterización genética de la aptitud deportiva del caballo Pura Sangre Lusitano a partir de las variables biocinemáticas al trote. Universidad de Córdoba.
- Halo, M., J. Mlynek, P. Strapák, and P. Massányi. 2008. Genetic efficiency parameters of Slovak warm-blood horses. *Arch. fur Tierzucht* 51:5-15.
- Hartmann, O. 1993. Untersuchungen zur Anwendung der linearen Beschreibung in der Reitpferdezucht. Germany: University of Halle.
- Hascher, H. 1998. Schätzung von Populationsparametern mittels Exterieur- und Leistungsdaten für Haflinger, Freiburger und CH Warmblut. Switzerland: University of Zürich
- Holmström, M., I. Fredricson, and S. Drevemo. 1995. Biokinematic effects of collection on the trotting gaits in the elite dressage horse. *Equine Vet. J.* 27:281-287.
- Holmström, M., L. E. Magnusson, and J. Philipsson. 1990. Variation in conformation of Swedish warmblood horses and conformational characteristics of élite sport horses. *Equine Vet. J.* 22:186-193.
- Holmström, M., and J. Philipsson. 1993. Relationships between conformation, performance and health in 4-year-old swedish warmblood riding horses. *Livest. Prod. Sci.* 33:293-312.
- Holmström, M. 1996. La locomotion du cheval de dressage analysée par des caméras à grande vitesse». In: *Colloque Sélection et Aptitude au Dressage*. Institut d. France. p. 34-4.
- Holmström, M. 2001. The effects of conformation. In: C. Clayton H., Saunders, editor. *Equine Locomotion*. London.
- Hugason, K., T. Árnason, and L. Norell. 1987. Efficiency of three-stage selection of stallions. *J. Anim. Breed. Genet.*:350-363.
- Huizinga, H. ., M. Boukamp, and G. Smolders. 1990. Estimated parameters of field performance testing of mares from the Dutch Warmblood riding horse population. *Livest. Prod. Sci.* 26:291-299.
- Huizinga, H. A., J. H. J. van der Werf, S. Korver, and G. J. W. van der Meij. 1991. Stationary performance testing of stallions from the Dutch Warmblood riding horse population. 1. Estimated genetic parameters of scored traits and the genetic relation with dressage and jumping competition from offspring of breeding stallions. *Livest. Prod. Sci.* 27:231-244.
- Jaitner, J., and F. Reinhardt. 1993. Estimation of breeding values for performance test traits of stallions. In: *Proceedings of the 44th Annual Meeting of the European Association for Animal*. Aarhus (Denmark).
- Jakubec, V., L. Vostry, W. Schlote, I. Majzlik, and K. Mach. 2009. Selection in the genetic resource: genetic variation of the linear described type traits in the Old Kladrub horse. *Arch. Fur Tierzucht-Archives Anim. Breed.* 52:343-355.
- Janssens, S., and W. Vandepitte. 2004. Genetic parameters for body measurements and linear type traits in Belgian Bleu du Maine, Suffolk and Texel sheep. *Small Rumin. Res.* 54:13-24.
- Janssens, S., D. Winandy, a. Tylleman, C. Delmotte, W. Van Moeseke, and W. Vandepitte.

2004. The linear assessment scheme for sheep in Belgium: Breed averages and assessor quality. *Small Rumin. Res.* 51:85-95.
- Kattelans, A., C. Lange, K. Rohn, and P. Stadler. 2013. Kinetische und kinematische Untersuchungen zum Einfluss unterschiedlicher Kopf-Hals-Haltungen auf die Biomechanik des Warmblutpferdes. *Pferdeheilkunde* 29:6-13.
- Kearsley, C. G. S., J. A. Woolliams, M. P. Coffey, and S. Brotherstone. 2008. Use of competition data for genetic evaluations of eventing horses in Britain: Analysis of the dressage, showjumping and cross country phases of eventing competition. *Livest. Sci.* 118:72-81.
- Knopfhart, A. 1966. Beurteilung und Auswahl von Reitpferden. (P. Parey, editor.). Berlin und Hamburg.
- Koenen, E. P. C., L. . Aldridge, and J. Philipsson. 2004. An overview of breeding objectives for warmblood sport horses. *Livest. Prod. Sci.* 88:77-84.
- Koenen, E. P. C., and L. . Aldridge. 2002. Testing and genetic evaluation of sport horses in an international perspective. In: 7th World Congr. Appl. Genet. Livest. Prod.,. p. 367-374.
- Koenen, E. P. C., A. E. van Veldhuizen, and E. W. Brascamp. 1995. Genetic parameters of linear scored conformation traits and their relation to dressage and show-jumping performance in the Dutch Warmblood Riding Horse population. *Livest. Prod. Sci.* 43:85-94.
- Kramer, A. 2012. Implementation of an adjusted program of stallion selection. Wageningen, The Netherlands: Van Hall Larenstein University of Applied Science.
- Langlois, B., and C. Blouin. 2004. Statistical analysis of some factors affecting the number of horse births in France. *Reprod. Nutr. Dev.* 44:583-595.
- Langlois, B., J. Froidevaux, L. Lamarche, C. Legault, L. Tassencourt, and M. Theret. 1978. Analyse des liaisons entre la morphologie et l'aptitude au galop, au trot et au saut d'obstacles chez le cheval. *Ann. Génét. Sél. Anim.* 10:443-474.
- Lashley, M. J. J. O., S. Nauwelaerts, J. C. M. Vernooij, W. Back, and H. M. Clayton. 2014. Comparison of the head and neck position of elite dressage horses during top-level competitions in 1992 versus 2008. *Vet. J.* 202:462-5.
- Lawin, J. 2008. Po co próby dzielności? *Koński Targ* 12,;14-16.
- Lawrence, L. A. 2001. Horse conformation analysis. Cooperativ. Washington State University, USA.
- Legarra, A., P. López-Romero, and E. Ugarte. 2005. Bayesian model selection of contemporary groups for BLUP genetic evaluation in Latxa dairy sheep. *Livest. Prod. Sci.* 93:205-212.
- Leleu, C., C. Cotrel, and E. Barrey. 2005. Relationships between biomechanical variables and race performance in French Standardbred trotters. *Livest. Prod. Sci.* 92:39-46.
- von Lengerken, G., and K. Werner. 1969. Das Exterieur der Zuchtund Renntraber in der DDR. 1. *Wiss. Z. Univ. Halle* 8:505 - 518.
- Lewczuk, D., and B. Ducro. 2012. Repeatability of free jumping parameters on tests of different duration. *Livest. Sci.* 146:22-28.

- López, S., F. Goyache, J. R. Quevedo, J. Alonso, J. Ranilla, O. Luaces, A. Bahamonde, and J. J. Coz. 2000. Un sistema inteligente para calificar morfológicamente a bovinos de la raza Asturiana de los Valles. *Intel. Artif. Rev. Iberoam. Intel. Artif.* 10:5-17.
- Lührs-Behnke, H., R. Röhe, and E. Kalm. 2002. Estimation of genetic parameters for traits used in the integrated breeding evaluation of German warmblood horses. In: 53rd Ann. Meet. EAAP, . Cairo.
- Magnsson, L. E. 1985. IV. Relationship between conformation and soundness in 4- year old Standardbred trotters», in: Studies on the conformation and related traits of Standardbred trotters. Sweden, SLU, Skara.
- Magnusson, L. E., and B. Thafvelin. 1985. Relationship between conformation and performance in 4-year old Standardbred trotters. In: Studies on the conformation and related traits of Standardbred trotters in Sweden. Swedish Un. Swedish.
- MAGRAMA. 2015. Explotación de datos censales Ganadería. Available from: https://aplicaciones.magrama.es/arca-webapp/flujos.html?_flowId=explotaDatosCensosRazaExcel-flow&_flowExecutionKey=e1s1
- Marey, E. J. 1882. *La Machine Animale. Locomotion Terrestre et Aérienne.* (Germer-Baillière, editor.). Paris.
- Mawdsley, A., E. P. Kelly, F. H. Smith, and P. O. Brophy. 1996. Linear assessment of the Thoroughbred horse: An approach to conformation evaluation. *Equine Vet. J.* 28:461-467.
- Molina, A., M. Valera, A. M. Galisteo, J. Vivo, M. D. Gómez, A. Rodero, and E. Agüera. 2008. Genetic parameters of biokinematic variables at walk in the Spanish Purebred (Andalusian) horse using experimental treadmill records. *Livest. Sci.* 116:137-145.
- Molina, A., M. Valera, R. Dos Santos, and A. Rodero. 1999. Genetic parameters of morphofunctional traits in Andalusian horse. *Livest. Prod. Sci.* 60:295-303.
- Moore, J. 2010. General Biomechanics: The Horse As a Biological Machine. *J. Equine Vet. Sci.* 30:379-383.
- Morales, J. L., M. Manchado, J. Vivo, A. M. Galisteo, E. Agüera, and F. Miró. 1998. Angular kinematic patterns of limbs in elite and riding horses at trot. *Equine Vet. J.* 30:528-533.
- Muybridge, E. 1899. *Animals in Motion.* (L.S. and Brown, editors.). Dover Publications, New York.
- Navarro, D., M. J. Sánchez, M. D. Gómez, M. Valera, and P. J. Azor. 2012. Determinacion del modelo de valoracion genetica para los caracteres morfologicos lineales en el caballo de Pura Raza Espanola. In: XVI Reunion de Mejora Genetica Animal. Ciutadella de Menorca.
- Nicolescu, J. 1923. *Messungen über die Mechanik des Hannoverschen Pferdes in Vergleich zum Vollblut und Traber.* Berlin.
- Niemann, B. 2009. *Untersuchungen zu Veränderungen im Zuchtgeschehen und deren Auswirkungen auf die Hannoveraner Pferdezucht/ Estudio sobre los cambios en la historia y su impacto en la cría de caballos de Hannover.* Goettingen University.
- Petlachová, T., E. Sobotková, I. Jiskrová, M. Pířová, I. Bihuncová, H. Āernohorská, and M. Kostuková. 2012. Evaluation of the conformation of stallions of selected horse breeds. *Acta*

- Univ. Agric. Silvic. Mendelianae Brun. 60:375-382.
- Philipsson, J., T. Arnason, and K. Bergsten. 1990. Alternative selection strategies for performance of the Swedish warmblood horse. *Livest. Prod. Sci.* 24:273-285.
- Pinto, L. F. B., F. Q. de Almeida, C. R. Quirino, P. C. N. de Azevedo, G. C. Cabral, E. M. Santos, and A. Corassa. 2008. Evaluation of the sexual dimorphism in Mangalarga Marchador horses using discriminant analysis. *Livest. Sci.* 119:161-166.
- Podhajsky, A. 1976. *La Equitación*. (A. Podhajsky, editor.). Madrid.
- Posta, J., I. Komlósi, and S. Mihók. 2010. Genetic parameters of Hungarian sport horse. Mare performance tests. *Anim. Sci. Pap. Reports* 28:373-380.
- Preisinger, R., J. Wilkens, and E. Kalm. 1991. Estimation of genetic parameters and breeding values for conformation traits for foals and mares in the Trakehner population and their practical implications. *Livest. Prod. Sci.* 29:77-86.
- Radescu, T. 1923. *Biometrische Untersuchungen an Vollblutpferden in Vergleich mit Rennleistung*. Berlin.
- Reilly, M., M. K. Foran, D. L. Kelleher, M. J. Flanagan, and P. O. Brophy. 1998. Estimation of genetic value of showjumping horses from the ranking of all performances in all competitions. *J. Anim. Breed. Genet.* 115:17-25.
- RFHE. 2015a. Doma Clásica. Available from: <http://www.rfhe.com/doma-clasica/>
- RFHE. 2015b. Capítulo I. Doma Clásica Artículo 401. Finalidad y principios generales. Available from: <http://www.rfhe.com/wp-content/uploads/2012/09/Reglamento-Doma-Clasica-2015-Version-final-tras-fe-de-erratas.pdf>
- Ricard, A., E. Bruns, and E. P. Cunningham. 2000. Genetic of performance traits. In: A. B. and A. Ruvinsky, editor. *The genetics of the horse*. CABI Publishing. p. 411-434.
- Ricard, A., and I. Chanu. 2001. Genetic parameters of eventing horse competition in France. *Genet. Sel. Evol.* 33:175-190.
- Ruhlmann, C., E. Bruns, E. Fraehr, J. Philipsson, S. Janssens, K. Quinn, E. T. Hellsten, and A. Ricard. 2009. Genetic connectedness between seven European countries for performance in jumping competitions of warmblood riding horses. *Livest. Sci.* 120:75-86.
- Rustin, M., S. Janssens, N. Buys, and N. Gengler. 2009. Multi-trait animal model estimation of genetic parameters for linear type and gait traits in the Belgian warmblood horse. *J. Anim. Breed. Genet.* 126:378-86.
- Saastamoinen, M. A., and E. Barrey. 2000. Genetics of conformation, locomotion and physiological traits. In: A. T. Bowling and A. Ruvinsky, editors. *The genetics of the horse*. London. p. 439-472.
- Sadek, M. H., A. Z. Al-Aboud, and A. A. Ashmawy. 2006. Factor analysis of body measurements in Arabian horses. *J. Anim. Breed. Genet.* 123:369-377.
- Samoré, A. B., G. Pagnacco, and F. Miglior. 1997. Genetic parameters and breeding values for linear type traits in the Haflinger horse. *Livest. Prod. Sci.* 52:105-111.
- Sánchez, M. J., P. J. Azor, M. D. Gómez, A. Molina, M. Solé, and M. Valera. 2014a. Catálogo

de Jóvenes Reproductores Recomendados de Pura Raza Española para la disciplina de Doma Clásica y Concurso Completo de Equitación / Catalog of PRE Breeding Stock - 2014 Dressage and Eventing.. Asociación Nacional de Criadores de Caballos de Pura Raza Española.

Sánchez, M. J., P. J. Azor, A. Molina, T. Parkin, J. L. L. Rivero, and M. Valera. 2015a. Prevalence, contributing factors and genetic parameters of cresty neck in Pura Raza Español horses. *Equine Vet. J.* sometido.

Sánchez, M. J., E. Bartolomé, and M. Valera. 2015b. Genetic study of stress assessed with infrared thermography during dressage competitions in the Pura Raza Español horse. *Appl. Anim. Behav. Sci.* sometido.

Sánchez, M. J., I. Cervantes, M. Valera, and J. P. Gutiérrez. 2014b. Modelling genetic evaluation for dressage in Pura Raza Español horses with focus on the rider effect. *J. Anim. Breed. Genet.* 131:395-402.

Sánchez, M. J., M. D. Gómez, P. J. Azor, A. Molina, and M. Valera. 2010. Breeding evaluation of the linear conformation traits analyzed in Spanish Purebred Horse (PRE). In: 61th Annual Meeting of the European Association for Animal Production. p. 222.

Sánchez, M. J., M. D. Gómez, A. Molina, and M. Valera. 2013. Genetic analyses for linear conformation traits in Pura Raza Español horses. *Livest. Sci.* 157:57-64.

Sánchez, M. J., M. D. Gómez, A. Molina, and M. Valera. 2014c. Assessment Scores in Morphological Competitions of Pura Raza Español Horse. *Int. J. Agric. Biol.*,:557-563.

Sánchez, M. J., M. D. Gómez, F. Peña, J. G. Monterde, J. L. Morales, A. Molina, and M. Valera. 2014d. Relationship between conformation traits and gait characteristics in Pura Raza Español horses. *Arch. Tierzucht* 56:137-148.

Sánchez, M. J., A. Molina, M. D. Gómez, F. Peña, and M. Valera. 2015c. Relationship between morphology and performance: signature of mass-selection in Pura Raza Español horse. *Livest. Sci.* (sometido).

Sánchez, M. J., M. Valera, M. D. Gómez, A. Molina, and P. J. Azor. 2014e. Catálogo de Reproductores de Pura Raza Española en aptitud morfológica para la Doma Clásica 2014.

Schade, W. 1996. Entwicklung eines Besamungszuchtprogramms für die Hannoversche Warmblutzucht. Dissertation. Göttingen.

Schroderus, E., and M. Ojala. 2010. Estimates of genetic parameters for conformation measures and scores in Finnhorse and Standardbred foals. *J. Anim. Breed. Genet.* 127:395-403.

SLU. 2001. Horse Industry in the European Union. Working report prepared for EU Equus . Skara, Uppsala, .

Solé, M., E. Bartolomé, M. J. Sánchez, A. Molina, and M. Valera. 2015. Predictability of adult Show Jumping ability from early information: alternative selection strategies in the Spanish Sport Horse population. *J. Anim. Breed. Genet.*

Solé, M., M. D. Gómez, M. Valera, R. Pelayo, and P. J. Azor. 2012. Caracterización genética de las razas equinas autóctonas españolas. Estudio preliminar. In: XVI REUNIÓN DE MEJORA GENÉTICA ANIMAL. Menorca.

- Solé, M., R. Santos, M. D. Gómez, A. M. Galisteo, and M. Valera. 2013. Evaluation of conformation against traits associated with dressage ability in unriden Iberian horses at the trot. *Res. Vet. Sci.* 95:660-666.
- Stachurska, A., and K. Bartyzel. 2011. Judging dressage competitions in the view of improving horse performance assessment. *Acta Agric. Scand. Sect. A - Anim. Sci.* 61:92-102.
- Stachurska, A., J. Niewczas, and M. Markowski. 2005. An Estimation of Reliability of Judging the Horse Dressage Competitions. In: 56th Annual Meeting of the European Association for Animal Production. Uppsala (Sweden).
- Stachurska, A., M. Pieta, J. Niewczas, and W. Markowski. 2006. The Freestyle dressage competition as a test of the horse's performance. *Equine Comp. Exerc. Physiol.* 3:93-100.
- Stashak, T. 1987. *Adam's Lameness in Horses*. 4th ed. (Lea and Febiger, editors.). Philadelphia.
- Stewart, I. D., J. A. Woolliams, and S. Brotherstone. 2010. Genetic evaluation of horses for performance in dressage competitions in Great Britain. *Livest. Sci.* 128:36-45.
- Stratul, J. 1922. *Biometrische Untersuchungen an Vollblutpferden mit Rückschlüssen auf Rennleistung*. Berlin.
- Ström, H., and J. Philipsson. 1978. Relative importance of performance tests and progeny tests in horse breeding. *Livest. Prod. Sci.* 5:303-312.
- Suontama, M., J. H. J. van der Werf, J. Juga, and M. Ojala. 2013. Genetic correlations for foal and studbook traits with racing traits and implications for selection strategies in the Finnhorse and Standardbred trotter. *J. Anim. Breed. Genet.* 130:178-89.
- Tavernier, A., and D. Clerc. 1994. Quelle est la meilleure stratégie de sélection des étalons de concours hippique? *Les Haras* .
- Tavernier, A. 1991. Genetic evaluation of horses based on ranks in competitions. *Genet. Sel. Evol.* 23:159-173.
- Thorén Hellsten, E., Å. Viklund, E. P. C. Koenen, A. Ricard, E. Bruns, J. Philipsson, E. Thorén, Å. Viklund, E. P. C. Koenen, A. Ricard, E. Bruns, and J. Philipsson. 2006. Review of genetic parameters estimated at stallion and young horse performance tests and their correlations with later results in dressage and show-jumping competition. *Livest. Sci.* 103:1-12.
- Uphaus, H., R. Preisinger, and E. Kalm. 1994. *Feld-und Stationspru fung fur Stuten: 1. Mitteilung: Populationsgenetische Analysen*.
- Valera, M., A. M. Galisteo, A. Molina, F. Miró, M. D. Gómez, M. R. Cano, and E. Agüera. 2008. Genetic parameters of biokinematic variables of the trot in Spanish Purebred horses under experimental treadmill conditions. *Vet. J.* 178:219-226.
- Van Veldhuizen, A. E. 1997. Breeding value estimation for riding horses in the Netherlands. In: 48th Ann. Meet. EAAP, . Vienna, Austria.
- von Velsen-Zerweck, A. 1998. *Integrierte Zuchtwertschätzung für Zuchtpferde*. Göttingen.
- Vesela, Z., L. Vostry, and P. Bucek. 2013. International Genetic Evaluation of Calving Traits in Beef Cattle. *INTERBULL Bull.* N°. 47:25.

- Vicente, A. A., N. Carolino, J. Ralão-Duarte, L. T. T. Gama, J. Ralão-Duarte, and L. T. T. Gama. 2014a. Selection for morphology, gaits and functional traits in Lusitano horses: I. Genetic parameter estimates. *Livest. Sci.* 164:1-12.
- Vicente, A. A., N. Carolino, J. Ralão-Duarte, and L. T. Gama. 2014b. Selection for morphology, gaits and functional traits in Lusitano horses: II. Fixed effects, genetic trends and selection in retrospect. *Livest. Sci.* 164:13-25.
- Viklund, A., A. Braam, A. Näsholm, E. Strandberg, and J. Philipsson. 2010. Genetic variation in competition traits at different ages and time periods and correlations with traits at field tests of 4-year-old Swedish Warmblood horses. *Animal* 4:682-91.
- Vostrý, L., Z. Capková, L. Andrejsová, K. Mach, and I. Majzlík. 2009. Linear type trait analysis in the Coldblood breeds: Czech-Moravian Belgian horse and Silesian Noriker. *Slovak J. Anim. Sci.* 42:99-106.
- Wallin, L., E. Strandberg, and J. Philipsson. 2003. Genetic correlations between field test results of Swedish Warmblood Riding Horses as 4-year-olds and lifetime performance results in dressage and show jumping. *Livest. Prod. Sci.* 82:61-71.
- Weeren, P. R., and N. Crevier-Denoix. 2006. Equine conformation: clues to performance and soundness? *Equine Vet. J.* 38:591-596.
- Weller, R., T. Pfau, K. Verheyen, S. A. May, and A. M. Wilson. 2006. The effect of conformation on orthopaedic health and performance in a cohort of National Hunt racehorses: preliminary results. *Equine Vet. J.* 38:622-627.
- Weymann, A. 1989. Untersuchungen zur linearen Exterieurbewertung in der Reitpferdezucht. Universität Göttingen, Diplomarbeit.
- Zechner, P., F. Zohman, J. Sölkner, I. Bodo, F. Habe, E. Marti, and G. Brem. 2001. Morphological description of the Lipizzan horse population. *Livest. Prod. Sci.* 69:163-177.
- Zurovacová, B., J. Candrák, R. Židek, I. Jiskrová, J. Buleca, and Z. László. 2008. Díjugrató sportlovak genetikai (örökí tocombining double acute accent-) értékének becslése BLUP-animal model módszerrel. *Magy. Allatorvosok Lapja* 130:651-657.

Listado de Publicaciones



7. 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.

7.1 PUBLICACIONES EN REVISTAS CON ÍNDICE DE IMPACTO (ISI)

AUTORES: **Sánchez, M.J.**, Gómez, M.D., Molina, A., Valera, M.

TÍTULO: Assessment scores in morphological competitions of Pura Raza Español horse.

REFERENCIA: International Journal of Agriculture and Biology (2014) 16, (3) 557-563.

EDITORIAL: Friends Science Publishers

PAÍS DE PUBLICACIÓN: Pakistan

ISSN: 1560-8530

IF= 0,902 (2º cuartil, 1º tercil). 21/56 en Agriculture, multidisciplinary.

AUTORES: **Sánchez, M.J.**, Cervantes, I., Valera, M., Gutiérrez, J.P.

TÍTULO: Modelling genetic evaluation for dressage in Pura Raza Español horses with focus on the rider effect.

REFERENCIA: Journal of Animal Breeding and Genetics (2014) 131, (5) 395-402. DOI: 10.1111/jbg.12088

EDITORIAL: Blackwell Publishing

PAÍS DE PUBLICACIÓN: Alemania

ISSN: 0931-2668

IF=1,566 (1º cuartil). 12/57 en Agriculture, Dairy and -Animal Science

AUTORES **Sánchez, M.J.**, Gómez, M.D., Molina, A., Valera, M.

TÍTULO DEL TRABAJO: Relationship between conformation trait and gait characteristics in Pura Raza Español horses.

REFERENCIA: Archiv fur Tierzucht, 56 (37) 137-148 (2014). doi: 10.7482/0003-9438-56-013.

EDITORIAL: Leibniz Institute for Farm Animal Biology (FBN) *Dummerstorf* Germany

PAÍS DE PUBLICACIÓN: Alemania

ISSN: 0003-9438

IF= 0,503 (3º cuartil) 43/57 en Agriculture, Dairy and Animal Science

AUTORES **Sánchez, M.J.**, Gómez, M.D., Molina, A., Valera, M.

TÍTULO DEL TRABAJO: Genetic analyses for linear conformation traits in Pura Raza Español horses

REFERENCIA: Livestock Science 157, (1) 57-64. doi:10.1016/j.livsci.2013.07.010

EDITORIAL: Elseiver

PAÍS DE PUBLICACIÓN: Holanda

ISSN: 18711413

IF= 1,100 (2º cuartil) 17/52 en Agriculture, Dairy and Animal Science

AUTORES **Sánchez, M.J.**, Molina, A., Gómez, M.D., Peña, F., Valera, M.

TÍTULO DEL TRABAJO: Relationship between morphology and performance: signature of mass-selection in Pura Raza Español horse

REFERENCIA: Livestock Science (sometido)

EDITORIAL: Elseiver

PAÍS DE PUBLICACIÓN: Holanda

ISSN: 18711413

IF= 1,171 (2º cuartil) 18/57 en Agriculture, Dairy and Animal Science

AUTORES **Sánchez, M.J.**, Molina, A., Cervantes, I., Gutiérrez, J.P., Valera, M.

TÍTULO DEL TRABAJO: Designing an early selection morphological linear traits index for dressage in Pura Raza Español horse.

REFERENCIA: Journal of Animal Science (sometido)

EDITORIAL: Amer soc animal science

PAÍS DE PUBLICACIÓN: Estados Unidos

ISSN: 0021-8812

IF= 2,108 (1º cuartil) 5/57 en Agriculture, Dairy and Animal Science

AUTORES **Sánchez, M.J.**, Azor, P. J., Molina, A., Parkin, T., Rivero, J.L.L., Valera, M.

TÍTULO DEL TRABAJO: Prevalence, contributing factors and genetic parameters of cresty neck in Pura Raza Español horses

REFERENCIA: Equine Veterinary Journal (sometido, en 1ª revisión)

EDITORIAL: Wiley-blackwell

PAÍS DE PUBLICACIÓN: Inglaterra

ISSN: 0425-1644

IF= 2,374 (1º cuartil) 9/133 en Veterinary Science

AUTORES **Sánchez, M.J.**, Bartolomé, E., Valera, M.

TÍTULO DEL TRABAJO: Genetic study of stress assessed with infrared thermography during dressage competitions in the Pura Raza Español horse.

REFERENCIA: Applied Animal Behaviour Science (sometido, en 1ª revisión)

EDITORIAL: Elseiver

PAÍS DE PUBLICACIÓN: Holanda

ISSN: 0168-1591

IF= 1,691 (1º cuartil) 26/133 en Veterinary Science

7.2 OTRAS PUBLICACIONES EN REVISTAS DE DIVULGACIÓN

AUTORES: Solé, M., **Sánchez, M.J.**, Cervantes, I., Azor, P.J., Valera, M.

TÍTULO DEL TRABAJO: Situación actual del programa de mejora del PRE y de las razas equinas europeas de deportes.

REFERENCIA: El Caballo Español PRE. N214 mar-abril 2013.

EDITORIAL: ANCCE

PAÍS DE PUBLICACIÓN: ESPAÑA

ISSN: 1889-4615

7.3 LIBROS COMPLETOS Y CAPÍTULOS DE LIBRO

AUTORES: **Sánchez M.J.**, Azor P.J., Gómez M.D., Molina A., Solé M., Valera M.

TÍTULO: Catálogo de Jóvenes Reproductores Recomendados de Pura Raza Española para la disciplina de Doma Clásica y Concurso Completo de Equitación 2014 / Catalog of PRE Breeding Stock - 2014 Dressage and Eventing.

EDITORIAL: ANCCE

ISBN: 978-84-697-1746-2

AÑO: 2014

CIUDAD: Sevilla

PAÍS DE PUBLICACIÓN: España

AUTORES: **Sánchez, M.J.**, Valera, M., Gómez, M.D., Molina, A., Azor, P.J.

TÍTULO: Catálogo de reproductores de Pura Raza Española en aptitud morfológica para la doma clásica 2014.

EDITORIAL: ANCCE

ISBN: 978-84-697-1745-5

AÑO: 2014

CIUDAD: Sevilla

PAÍS DE PUBLICACIÓN: España

AUTORES: **Sánchez M.J.**, Azor P.J., Gómez M.D., Molina A., Solé M., Valera M.

TÍTULO: Catálogo de Jóvenes Reproductores Recomendados de Pura Raza Española para la disciplina de Doma Clásica 2013.

EDITORIAL: ANCCE

ISBN: 978- 978-84-695-9029-4

AÑO: 2013

CIUDAD: Sevilla

PAÍS DE PUBLICACIÓN: España

AUTORES: **Sánchez, M.J.**, Valera, M., Gómez, M.D., Molina, A., Azor, P.J.

TÍTULO: Catálogo de reproductores de Pura Raza Española en aptitud morfológica para la doma clásica 2013.

EDITORIAL: ANCCE

ISBN: 978-84-695-9030-0

AÑO: 2013

CIUDAD: Sevilla

PAÍS DE PUBLICACIÓN: España

AUTORES: **Sánchez M.J.**, Azor P.J., Gómez M.D., Molina A., Solé M., Valera M.

TÍTULO: Catálogo de Jóvenes Reproductores Recomendados de Pura Raza Española para la disciplina de Doma Clásica 2012.

EDITORIAL: ANCCE

ISBN: ISBN: 978-84-695-6444-8.

AÑO: 2012

CIUDAD: Sevilla

PAÍS DE PUBLICACIÓN: España

AUTORES: Valera, M., **Sánchez, M.J.**, Navarro, D., Gómez, M.D., Molina, A., Azor, P.J.
TÍTULO: Catálogo de Jóvenes Reproductores Recomendados de Pura Raza Española para caracteres morfológicos lineales-2012.
EDITORIAL: ANCCE
ISBN: 978-84-695-6443-1.
AÑO: 2012
CIUDAD: Sevilla
PAÍS DE PUBLICACIÓN: España

AUTORES: **Sánchez M.J.**, Azor P.J., Gómez M.D., Molina A., Solé M., Valera M.
TÍTULO: Catálogo de Jóvenes Reproductores Recomendados de Pura Raza Española para la disciplina de Doma Clásica 2011.
EDITORIAL: ANCCE
ISBN: 978-84-694-9147-8. PÁGINAS:
AÑO: 2011
CIUDAD: Sevilla
PAÍS DE PUBLICACIÓN: España

AUTORES: Valera, M., **Sánchez, M.J.**, Gómez, M.D., Molina, A., Azor, P.J.
TÍTULO: Catálogo de Jóvenes Reproductores Recomendados de Pura Raza Española para caracteres morfológicos lineales-2011.
EDITORIAL: ANCCE
ISBN: 978-84-694-2858-0
AÑO: 2011
CIUDAD: Sevilla
PAÍS DE PUBLICACIÓN: España.

AUTORES: Gómez, M.D., **Sánchez, M.J.**, Azor, P.J., Solé, M., Cervantes, I., Bartolomé, E., Molina, A., Valera, M.
TÍTULO: Catálogo de Jóvenes Reproductores Recomendados de Pura Raza Menorquina: Doma Clásica Catálogo 2011.
EDITORIAL: Grupo MERAGEM
ISBN: 978-84-694-9494-3
AÑO: 2011
CIUDAD: Sevilla
PAÍS DE PUBLICACIÓN: España

AUTORES: Valera, M., **Sánchez, M.J.**, Gómez, M.D., Azor, P.J., Bartolomé, E., Cervantes, I., Medina, C., Molina, A.
TÍTULO: Catálogo de Jóvenes Reproductores Recomendados 2010 - Doma Clásica.
EDITORIAL: Grupo MERAGEM
ISBN: 978-84-693-6416-1.
AÑO: 2010
CIUDAD: Sevilla
PAÍS DE PUBLICACIÓN: España

AUTORES: Valera, M., **Sánchez, M.J.**, Gómez, M.D., Molina, A., Azor, P.J.

TÍTULO: Catálogo de Jóvenes Reproductores Recomendados de Pura Raza Española para Caracteres Morfológicos Lineales”.

EDITORIAL: ANCCE

ISBN: 978-84-693-0296-5.

AÑO: 2010

CIUDAD: Sevilla

PAÍS DE PUBLICACIÓN: España

AUTORES: Valera, M., Bartolomé, E., Gómez, M.D., Cervantes, I., **Sánchez, M.J.**, Medina, C., Molina, A., Escribano, C.J., García, I., Castellanos, M. TÍTULO: Catálogo de Jóvenes Reproductores Recomendados 2009.

EDITORIAL Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación

ISBN: 978-84-491-0942-3

AÑO: 2009

CIUDAD: Madrid

PAÍS DE PUBLICACIÓN: España

7.4 CONGRESOS INTERNACIONALES

AUTORES: Sánchez, M.J., Valera, M., Molina, A., Bartolomé, E.

TÍTULO: Genetic study of stress assessed with infrared thermography during dressage performance

CONGRESO: 66th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science Production

ENTIDAD ORGANIZADORA: EAAP

PUBLICACIÓN (ISSN/ISBN): Book of Abstracts of the 66th Annual Meeting of the European Association for Animal Production

TIPO DE PARTICIPACIÓN: Póster

LUGAR DE CELEBRACIÓN: Varsovia, Polonia

FECHA: 31 Agosto- 4 Septiembre 2015

AUTORES: Cervantes, I., Sánchez, M.J., Valera, M., Gómez, M.D., Gutiérrez, J.P., Molina, A.

TÍTULO: Designing a selection index for dressage in PRE horse using performance and morphological traits

CONGRESO: 66th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science Production

ENTIDAD ORGANIZADORA: EAAP

PUBLICACIÓN (ISSN/ISBN): Book of Abstracts of the 66th Annual Meeting of the European Association for Animal Production

TIPO DE PARTICIPACIÓN: Póster

LUGAR DE CELEBRACIÓN: Varsovia, Polonia

FECHA: 31 Agosto- 4 Septiembre 2015

AUTORES: Sánchez, M.J., Azor, P.J., Molina, A., López-Rivero, J.L., Valera, M.

TÍTULO: *Genetic analysis of cresty neck in the Pura Raza Español horse.*

CONGRESO: 66th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science Production

ENTIDAD ORGANIZADORA: EAAP

PUBLICACIÓN (ISSN/ISBN): Book of Abstracts of the 66th Annual Meeting of the European Association for Animal Production

TIPO DE PARTICIPACIÓN: Póster

LUGAR DE CELEBRACIÓN: Varsovia, Polonia

FECHA: 31 Agosto- 4 Septiembre 2015

AUTORES: **Sánchez, M.J.**, Molina, A., Gómez, M.D., Cervantes, I., Valera, M.

TÍTULO: Relationship between linear conformation traits and Dressage performance scores in Pura Raza Español Horses.

CONGRESO: 65th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science Production

ENTIDAD ORGANIZADORA: EAAP

PUBLICACIÓN (ISSN/ISBN): Book of Abstracts of the 66th Annual Meeting of the European Association for Animal Production

TIPO DE PARTICIPACIÓN: Póster

LUGAR DE CELEBRACIÓN: Copenhagen. Denmark.

FECHA: 25-28 Agosto 2014

AUTORES: **Sánchez, M.J.**, Valera, M. Gómez, M.D., Cervantes, I., Gutiérrez, J.P.

TÍTULO: Modelling the rider effect in the genetic evaluation of dressage in Spanish Purebred Horses.

CONGRESO: 63th Annual Meeting of the European Association for Animal Production.

ENTIDAD ORGANIZADORA: EAAP

PUBLICACIÓN (ISSN/ISBN): Book of Abstracts of the 63th Annual Meeting of the European Association for Animal Production (ISBN978-90-8686-761-)

TIPO DE PARTICIPACIÓN: Oral

LUGAR DE CELEBRACIÓN: Bratislava, Slovakia

FECHA: 27-31 de Agosto de 2012.

AUTORES: **Sánchez, M.J.**, Gómez, M.D., Azor, P.J., Horcada, A., Valera, M.

TÍTULO: Assesment of morphological and gait scores given by judges in the Spanish Purebred Horses´ s show.

CONGRESO: 63th Annual Meeting of the European Association for Animal Production.

ENTIDAD ORGANIZADORA: EAAP

PUBLICACIÓN (ISSN/ISBN): Book of Abstracts of the 63th Annual Meeting of the European Association for Animal Production (ISBN978-90-8686-761)

TIPO DE PARTICIPACIÓN: Oral

LUGAR DE CELEBRACIÓN: Bratislava, Slovakia

FECHA: 27-31 de Agosto de 2012.

AUTORES: **Sánchez, M.J.**, Azor, P.J., Gómez, M.D., Bartolomé, E., Valera, M.

TÍTULO: Relationships between linear conformation traits and morphological scores in the Spanish Purebred.

CONGRESO: 62th Annual Meeting of the European Association for Animal Production.

ENTIDAD ORGANIZADORA: EAAP

PUBLICACIÓN (ISSN/ISBN): Book of Abstracts of the 62th Annual Meeting of the European Association for Animal Production (ISBN: 978-90-8686-152-1)

TIPO DE PARTICIPACIÓN: Póster

LUGAR DE CELEBRACIÓN: Stanvanger, Noruega
FECHA: de Agosto de 2011.

AUTORES: **Sánchez, M.J.**, Bartolomé, E., Schaefer, A., Cook, N., Molina, A., Valera, M.
TÍTULO: An alternative tool for stress assessment during competition in horses: preliminary results
CONGRESO: 62th Annual Meeting of the European Association for Animal Production.
ENTIDAD ORGANIZADORA: EAAP
PUBLICACIÓN (ISSN/ISBN): Book of Abstracts of the 62th Annual Meeting of the European Association for Animal Production (ISBN: 978-90-8686-152-1)
TIPO DE PARTICIPACIÓN: Oral
LUGAR DE CELEBRACIÓN: Stanvanger, Noruega
FECHA: de Agosto de 2011.

AUTORES: **Sánchez, M.J.**, Gómez, M.D., Azor, P.J., Molina, A., Valera, M.
TÍTULO: Breeding evaluation of the linear conformation traits analyzed in Spanish Purebred Horse (PRE)
CONGRESO: 61th Annual Meeting of the European Association for Animal Production.
ENTIDAD ORGANIZADORA: EAAP
PUBLICACIÓN (ISSN/ISBN): Book of Abstracts of the 61th Annual Meeting of the European Association for Animal Production (ISBN: 978-90-8686-152-1)
TIPO DE PARTICIPACIÓN: Oral
LUGAR DE CELEBRACIÓN: Heraklion, Greece
FECHA: 22-27 de Agosto de 2010.

AUTORES: Gómez, M.D., **Sánchez, M.J.**, Solé, M., Valera, M., Molina, A.
TÍTULO: Genetic parameters for body measurements in Menorca Horses: preliminary results for the development of a linear assessment methodology.
CONGRESO: 61th Annual Meeting of the European Association for Animal Production.
ENTIDAD ORGANIZADORA: EAAP
PUBLICACIÓN (ISSN/ISBN): Book of Abstracts of the 61th Annual Meeting of the European Association for Animal Production (ISBN: 978-90-8686-152-1)
TIPO DE PARTICIPACIÓN: Póster
LUGAR DE CELEBRACIÓN: Heraklion, Greece
FECHA: 22-27 de Agosto de 2010.

7.5 CONGRESOS NACIONALES

AUTORES: Bartolomé, E., **Sánchez, M.J.**, Gómez, M.D., Cervantes, I., Solé, M., Negro, S., Anaya, G.J., Azor, P.J., Molina, A., Valera, M.
TÍTULO DE LA COMUNICACIÓN: Programas de Mejora de las Razas Equinas Españolas
CONGRESO: FEGASUR, 2012
ENTIDAD ORGANIZADORA: Comité Organizador de FEGASUR
TIPO DE PARTICIPACIÓN: Póster
LUGAR DE CELEBRACIÓN: Recinto Ferial IFECA, Jerez de la Frontera (Cádiz)
AÑO: 9-11 de Noviembre de 2012

AUTORES: Navarro D., Sánchez M.J., Gómez M.D., Valera M., Azor P.J.

TÍTULO DE LA COMUNICACIÓN: Determinación del modelo de valoración genética para los caracteres morfológicos lineales en el caballo de Pura Raza Española

CONGRESO: XVI Reunión de Mejora Genética Animal

ENTIDAD ORGANIZADORA: Comité Organizador de FEGASUR

TIPO DE PARTICIPACIÓN: Póster

LUGAR DE CELEBRACIÓN: Ciutadella de Menorca

AÑO: 2012

AUTORES: Sánchez, M.J., Valera, M., Navarro, D., Gómez, M.D., Molina, A.

TÍTULO DE LA COMUNICACIÓN: Diseño de un índice multicaracter para la selección precoz de la aptitud para la Doma Clásica en el caballo de Pura Raza Española a partir de caracteres morfológicos lineales

CONGRESO: XVI Reunión de Mejora Genética Animal

ENTIDAD ORGANIZADORA: Comité Organizador de FEGASUR

TIPO DE PARTICIPACIÓN: Póster

LUGAR DE CELEBRACIÓN: Ciutadella de Menorca

AÑO: 2012

AUTORES: Sánchez, M.J.

TÍTULO DEL PROYECTO: Desarrollo de nuevas metodologías de evaluación genética de la conformación funcional y del potencial deportivo del caballo de pura raza española en el nuevo milenio.

CONGRESO: Congreso de Formación de Investigadores en Agroalimentación. ENTIDAD

ORGANIZADORA: Universidad de Córdoba

TIPO DE PARTICIPACIÓN: Oral

LUGAR DE CELEBRACIÓN: Córdoba

AÑO: 2012

7.6 DIRECCIÓN DE PROYECTOS FINAL DE CARRERA (ETSIA)

DIRECTORES: Sánchez, M.J., Valera, M.

AUTOR: Navarro, D.

TÍTULO DEL PROYECTO: Estimación de parámetros genéticos de caracteres morfológicos lineales y valoración genética de reproductores en el caballo de Pura Raza Española.

UNIVERSIDAD: Escuela Técnica Superior de Ciencias Agroforestales (ETSIA).

ENTIDAD ORGANIZADORA: Universidad de Sevilla

LUGAR DE CELEBRACIÓN: Sevilla

CALIFICACIÓN OBTENIDA: 10

AÑO: 2011/2012

7.7 PREMIOS ESPECIALES

MENCIÓN ESPECIAL AL MEJOR PÓSTER

AUTORES: Sánchez, M.J., Azor, P.J., Gómez, M.D., Bartolomé, E., Valera, M.

TÍTULO: Relationships between linear conformation traits and morphological scores in the Spanish Purebreed.

CONGRESO: 62th Annual Meeting of the European Association for Animal Production.

ENTIDAD ORGANIZADORA: EAAP

PUBLICACIÓN (ISSN/ISBN): Book of Abstracts of the 62th Annual Meeting of the European Association for Animal Production (ISBN: 978-90-8686-152-1)

TIPO DE PARTICIPACIÓN: Póster

LUGAR DE CELEBRACIÓN: Stanvanger, Noruega

FECHA: de Agosto de 2011.

