



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

CARACTERIZACIÓN GENÉTICA DE LA APTITUD
DEPORTIVA DEL CABALLO PURA SANGRE
LUSITANO A PARTIR DE VARIABLES
BIOCINEMÁTICAS AL TROTE

TESIS DOCTORAL

RUTE ISABEL DUARTE GUEDES DOS SANTOS

2008

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE VETERINARIA
DEPARTAMENTO DE ANATOMÍA Y ANATOMÍA PATOLÓGICA COMPARADAS

CARACTERIZACIÓN GENÉTICA DE LA APTITUD
DEPORTIVA DEL CABALLO PURA SANGRE LUSITANO
A PARTIR DE VARIABLES BIOCINEMÁTICAS AL TROTE

MEMORIA DE TESIS DOCTORAL PRESENTADA POR

RUTE ISABEL DUARTE GUEDES DOS SANTOS

Para optar al Grado de Doctor Europeo por la Universidad de Córdoba

DIRECTORES

Mercedes Valera Córdoba

Alfonso Martínez Galisteo

Córdoba, Junio de 2008



ALFONSO MARTÍNEZ GALISTEO,
PROFESOR TITULAR DEL DEPARTAMENTO DE ANATOMÍA Y ANATOMÍA
PATOLÓGICA COMPARADAS DE LA UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

INFORMA:

Que la presente Memoria de Tesis Doctoral titulada: "CARACTERIZACIÓN GENÉTICA DE LA APTITUD DEPORTIVA DEL CABALLO PURA SANGRE LUSITANO A PARTIR DE VARIABLES BIOCINEMÁTICAS AL TROTE", realizada por la Licenciada en Veterinaria Dña. Rute Isabel Duarte Guedes dos Santos, ha sido realizada bajo su dirección, y cumple las condiciones exigidas para optar al Grado de Doctor por la Universidad de Córdoba.

Para que así conste, firma la presente en Córdoba, a veinte y tres de Junio de dos mil ocho.



M^a MERCEDES VALERA CÓRDOBA,
PROFESORA CONTRATADA DOCTORA DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS
AGROFORESTALES DE LA UNIVERSIDAD DE SEVILLA

INFORMA:

Que la presente Memoria de Tesis Doctoral titulada: "CARACTERIZACIÓN GENÉTICA DE LA APTITUD DEPORTIVA DEL CABALLO PURA SANGRE LUSITANO A PARTIR DE VARIABLES BIOCINEMÁTICAS AL TROTE", realizada por la Licenciada en Veterinaria Dña. Rute Isabel Duarte Guedes dos Santos, ha sido realizada bajo su dirección, y cumple las condiciones exigidas para optar al Grado de Doctor por la Universidad de Córdoba.

Para que así conste, firma la presente en Córdoba, a veinte y tres de Junio de dos mil ocho.

A José, a mi familia y a mis amigos

O cavalo

Teus poros exalam o fumo
Do lar dos deuses de onde vieste.
Rompante de espuma e de lume
És sol quadrúpede ou mar equestre?

Desfilando derramas o ouro
Do teu rio inacabável,
Desmedido relâmpago louro
De um deus equídeo possante e frágil.

Tudo existiu para que fosses
No contraluz desta madrugada
Mitológica proporção perfeita
Em purpúrea bruma recortada.

Pois que te é divino mister
Humanos olhos extasiar
A dúvida é só perceber
Se vieste do sol ou do mar.

Natália Correia

AGRADECIMIENTOS

Para llevar a cabo a este trabajo, ha sido necesario el esfuerzo, la comprensión y el empeño de muchos. Es para mí un honor haber tenido la colaboración y el apoyo de todos.

A mis directores, Profesora Dña. Mercedes Valera Córdoba y Profesor D. Alfonso Martínez Galisteo, por sus orientaciones científicas, porque han sabido comprender mi poca disponibilidad de tiempo, por poseer la capacidad de hacer sencillos los temas complejos, y porque han aceptado dirigir una Tesis a alguien que, infelizmente, no tiene el completo dominio del idioma. Ha sido un privilegio trabajar bajo su dirección.

Al Profesor D. Antonio Molina Alcalá, por su excepcional colaboración en todo el trabajo de caracterización genética. Su generosidad, que no termina de sorprenderme, solo es superada por su nivel de conocimientos científicos.

Al Profesor D. Francisco Miró Rodríguez, por su ánimo y su apoyo.

A Juan Luis Garrido Castro y a su mujer Cristina, por su colaboración en el análisis videográfico.

A mis alumnos, Rui Tiago Recto y Pedro Mendes, por tantas horas de trabajo en la recogida de datos, algunas veces bajo condiciones difíciles. También a Ricardo Tavares, por dejarme fotografiar sus caballos.

A mi compañero Hermenegildo Castanho, por haber concebido y construido el dispositivo de calibración, haciéndolo “portátil”, y por su inestimable ayuda en el manejo de los equipos de vídeo e informáticos.

A los ganaderos, jinetes, entrenadores y propietarios que han permitido la recogida de datos de los caballos Lusitanos utilizados en esta Tesis.

Al personal del Grupo MERAGEM, Pedro Azor, Ester Bartolomé y Maria Dolores Gómez, que me han acompañado y ayudado siempre que de ellos he necesitado. Un agradecimiento especial a Cristóbal Medina, por haber dedicado tanto tiempo y trabajo a ayudarme en la estimación de parámetros genéticos. Y a todo el personal del Grupo, por hacerme sentir siempre “en casa”.

A mi hermana Catarina, por su colaboración en la revisión de las referencias bibliográficas de esta Tesis.

A mi compañera Estela Alzaga, que he reencontrado tras 10 años, y que me ha acompañado y dado mucho ánimo en la fase final de redacción de la Tesis.

A mis compañeros de la Escuela Superior Agraria de Elvas, por todo su apoyo. En particular, a mi compañera y amiga M^a da Graça Pacheco Ribeiro, por todo...

Al Presidente del Instituto Politécnico de Portalegre, Dr. Nuno Oliveira, por su apoyo.

Al Dr. José Luís Cachapa, por su inestimable ayuda, al Dr. Mário Galiza Mendes y a su hija Mafalda.

Finalmente, un agradecimiento muy especial a la empresa VIRBAC Portuguesa, que ha financiado la adquisición de los equipos de vídeo y la recogida de datos. Sin este importante apoyo en la fase inicial, este trabajo nunca se habría concretizado.

ÍNDICE GENERAL:

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
Introducción.....	3
Objetivos	5
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	7
1. El Caballo Lusitano.....	9
1.1. Orígenes y establecimiento de la raza.....	9
1.2. Algunas características de la raza.....	11
1.2.1. Morfología y zoometría	11
1.2.2. Parámetros reproductivos	13
1.2.3. Consanguinidad y selección.....	13
1.3. El Pura Sangre Lusitano en la actualidad	14
2. La biomecánica equina	15
2.1. Breve nota histórica.....	16
2.2. Conceptos y terminología en cinemática equina.....	17
2.3. Métodos utilizados en el análisis biomecánico.....	19
2.3.1. Análisis biocinemático	19
2.3.2. Análisis biocinético	21
2.4. La locomoción del caballo.....	22
2.4.1. El paso.....	23
2.4.2. El trote.....	23
2.4.3. El galope	24
2.4.4. Factores que influyen en la locomoción equina	25
2.4.4.1. Velocidad	25
2.4.4.2. Morfología.....	25
2.4.4.3. Raza	29
2.4.4.4. Edad.....	29
2.4.4.5. Entrenamiento	30
2.4.4.6. Jinete.....	31
2.4.4.7. Características de la pista.....	33
3. Genética de la morfología y de la locomoción del caballo	34
3.1. Evaluación genética de la aptitud deportiva	35
3.2. Evaluación genética de medidas morfométricas.....	37
3.3. Evaluación genética de la locomoción	39
MATERIAL Y MÉTODOS	41
1. Material animal	43
2. Metodología	44
2.1. Obtención y análisis de las imágenes.....	44
2.1.1. Colocación de los marcadores.....	44
2.1.2. Preparación de la pista.....	45
2.1.3. Calibración y grabado.....	46
2.1.4. Digitalización	47
2.1.5. Reconstrucción	47
2.1.6. Suavizado y normalización	47
2.2. Determinación de las variables.....	48
2.2.1. Variables morfométricas.....	48
2.2.2. Variables biocinemáticas	49
2.2.2.1. Parámetros lineales:.....	50
2.2.2.2. Parámetros temporales:.....	50

2.2.2.3. Parámetros angulares:.....	50
2.3. Análisis estadístico.....	52
2.4. Estimación de parámetros genéticos.....	54
RESULTADOS	55
1. Datos morfométricos.....	57
2. Datos biocinemáticos del trote.....	59
3. Factores de influencia sobre las variables morfométricas y biocinemáticas analizadas.....	74
4. Interrelaciones entre las variables morfométricas y biocinemáticas analizadas.....	76
4.1. Estimación de la correlaciones de Pearson entre las diferentes variables analizadas.....	76
4.2. Análisis multivariado de interrelaciones entre las variables analizadas.....	80
4.3. Estudio de la influencia de la aptitud del caballo sobre las diferentes variables analizadas.....	82
5. Estimación de parámetros genéticos.....	86
DISCUSIÓN	91
1. Morfometría del caballo Lusitano.....	93
1.1. Características morfométricas.....	94
1.2. Interrelaciones entre variables morfométricas.....	99
2. Patrón locomotor del trote del caballo Lusitano.....	100
2.1. Parámetros lineales.....	101
2.2. Parámetros temporales.....	102
2.3. Parámetros angulares.....	103
2.4. Interrelaciones entre variables biocinemáticas.....	106
3. Interrelación entre la morfometría y la locomoción.....	106
4. Caracterización genética.....	107
CONCLUSIONES	111
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	115
 ANEXOS:	
Anexo 1: Estándar racial de la raza equina Pura Sangre Lusitano.....	I
Anexo 2: Gráficas de regresión lineal entre la velocidad y las variables biocinemáticas.....	III
Anexo 3: Correlaciones entre ángulos articulares y inclinaciones en el instante de apoyo medioV.....	V
Anexo 4: Correlaciones entre ángulos y variables biocinemáticas.....	V
Anexo 5a: Resultados del ANOVA entre los grupos aptitud indeterminada, doma y rejoneo – variables morfométricas.....	VI
Anexo 5b: Resultados del ANOVA y del ANCOVA entre los grupos aptitud indeterminada, doma y rejoneo con la velocidad como covariable – variables biocinemáticas.....	VII

ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 1.1: Medidas somáticas de caballos Pura Sangre Lusitano.....	13
Tabla 1.2: Correlaciones genéticas entre las valoraciones de los aires del caballo y los resultados en competiciones de doma clásica, según distintos autores.	36
Tabla 1.3.: Heredabilidad de las valoraciones de los aires del caballo (y error estándar, cuando descrito), según distintos autores.	36
Tabla 1.4: Correlaciones genéticas (y error estándar, cuando descrito) entre las valoraciones de los aires del caballo, según distintos autores.	36
Tabla 1.5: Estimación de heredabilidad de algunas medidas morfométricas en distintas razas.	38
Tabla 1.6: Correlaciones genéticas entre algunas medidas morfométricas.	39
Tabla 2.1: Número de animales grabados por ganadería.	43
Tabla 3.1. Estadísticos descriptivos de las variables morfométricas.	57
Tabla 3.2. Estadísticos básicos de la velocidad y de los parámetros lineales y temporales del tranco en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.....	59
Tabla 3.3. Estadísticos básicos de los parámetros temporales del tranco del miembro torácico en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.	59
Tabla 3.4. Estadísticos básicos de los parámetros temporales del tranco del miembro pelviano en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.	60
Tabla 3.5. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo de inclinación del cuello en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.	61
Tabla 3.6. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo de inclinación de la escápula en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.....	61
Tabla 3.7. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo del hombro en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.	62
Tabla 3.8. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo de inclinación del brazo en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.....	62
Tabla 3.9. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo del codo en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.	63
Tabla 3.10. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo de inclinación del antebrazo en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.....	63
Tabla 3.11. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo del carpo en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.	63
Tabla 3.12. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo de inclinación del metacarpo en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano. ...	64
Tabla 3.13. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo del menudillo torácico en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.....	64
Tabla 3.14. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo de inclinación de la cuartilla torácica en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.....	64
Tabla 3.15. Estadísticos básicos de los parámetros biocinem. del ángulo de protracción-retracción del m. torácico en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.....	65
Tabla 3.16. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo de inclinación de la pelvis en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.	68
Tabla 3.17. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo la cadera en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.	68
Tabla 3.18. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo de inclinación del muslo en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.....	69
Tabla 3.19. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo de la rodilla en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.	69

Tabla 3.20. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo de inclinación de la pierna en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.	69
Tabla 3.21. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo del tarso en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.	70
Tabla 3.22. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo de inclinación del metatarso en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.....	70
Tabla 3.23. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo del menudillo pelviano en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.....	70
Tabla 3.24. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo de inclinación de la cuartilla pelviana en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.....	71
Tabla 3.25. Estadísticos básicos de los parámetros biocinem. del ángulo de protracción-retracción del m. pelviano en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.....	71
Tabla 3.26. Resultados del modelo mixto – valores del estadístico F y su significación, para variables morfométricas analizadas en el caballo Lusitano.....	74
Tabla 3.27. Resultados del modelo mixto – valores del estadístico F y su significación, para las variables biocinemáticas analizadas en el caballo Lusitano.....	75
Tabla 3.28. Ecuación de regresión lineal entre la velocidad y las variables biocinemáticas analizadas en el caballo Lusitano.	75
Tabla 3.29. Correlaciones de Pearson entre las variables morfométricas.	77
Tabla 3.30. Correlaciones de Pearson entre las variables biocinemáticas.....	78
Tabla 3.31. Correlaciones de Pearson entre las variables morfométricas y biocinemáticas.	79
Tabla 3.32. Heredabilidades y correlaciones genéticas, y sus errores estándar, entre variables morfométricas del trote.....	88
Tabla 3.33. Heredabilidades y correlaciones genéticas, y sus errores estándar, entre variables cinemáticas del trote.....	89
Tabla 3.34. Correlaciones genéticas, y sus errores estándar, entre variables morfométricas y cinemáticas.....	90
Tabla 4.1. Comparación entre medidas corporales (longitudes e ángulos) de tres razas, obtenidas utilizando métodos informáticos de análisis de imagen.....	95

ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 1.1. Yéguas y potros Alter Real saliendo para el campo en la Coudelaría de Alter	10
Figura 1.2. Mafalda Galiza Mendes en el Lusitano <i>Owni</i> , en una prueba de Grande Premio con música (Kür)	15
Figura 2.1. Histograma de frecuencias del número de caballos grabados en cada centro de entrenamiento.....	43
Figura 2.2: Histograma de frecuencias del número de caballos grabados, en función de su edad.	44
Figura 2.3: Esquema representando la posición de los marcadores retro-reflexivos sobre el caballo.....	45
Figura 2.4: Esquema del dispositivo de calibración utilizado.	46
Figura 2.5. Ejemplo de un diagrama ángulo tiempo.....	53
Figura 3.1. Variables morfométricas: distancias entre marcadores; se exhiben los valores medios (por encima) y los valores máximos y mínimos (por abajo).....	58
Figura 3.2. Variables morfométricas: ángulos en el instante de apoyo medio (em grados); se exhiben los valores medios, y los valores mínimos y máximos (por abajo del valor medio).....	58
Figura 3.3. Variables biocinemáticas: altura de la corona durante el tranco del miembro torácico (izquierda) y del miembro pelviano (derecha).	60
Figura 3.4. Diagramas ángulo-tiempo (media \pm desviación estándar) de las articulaciones e inclinaciones de los segmentos del miembro torácico: inclinación del cuello, inclinación de la escápula, ángulo del hombro, inclinación del brazo, ángulo del codo y inclinación del antebrazo.....	66
Figura 3.5. Diagramas ángulo-tiempo (media \pm desviación estándar) de las articulaciones e inclinaciones de los segmentos del miembro torácico: ángulo del carpo, inclinación del metacarpo, ángulo del menudillo, inclinación de la cuartilla y ángulo de protracción-retracción.	67
Figura 3.6. Diagramas ángulo-tiempo (media \pm desviación estándar) de las articulaciones e inclinaciones de los segmentos del miembro pelviano: inclinación de la pelvis, ángulo de la cadera, inclinación del muslo, ángulo de la rodilla, inclinación de la pierna y ángulo del tarso.	72
Figura 3.7. Diagramas ángulo-tiempo (media \pm desviación estándar)) de las articulaciones e inclinaciones de los segmentos del miembro pelviano: inclinación del metatarso, ángulo del menudillo, inclinación de la cuartilla y ángulo de protracción-retracción.	73
Figura 3.9. <i>Screeplots</i> para los valores propios de los componentes para las variables morfométricas (a) y biocinemáticas (b) en la raza Lusitana.....	80
Figura 3.10. Análisis de componentes principales para las variables morfométricas (a) y biocinemáticas (b) analizadas en la raza Lusitana; representación gráfica de los vectores de las variables en el plano definido por los factores 1 y 2, y respectivas coordenadas, para esos mismos factores.	81
Figura 3.11. Análisis discriminante canónico para las variables morfométricas, agrupando los animales en función de su aptitud (doma, rejoneo o indeterminada) en el caballo Lusitano; representación gráfica y peso relativo de las variables en los primeros ejes.	82
Figura 3.12. Representación gráfica de las medias (\pm d.E.) de las variables morfométricas con más peso sobre el primer eje canónico de diferenciación según la aptitud en el caballo Lusitano.	83
Figura 3.13. Representación gráfica de las medias (\pm d.E.) de las variables morfométricas con más peso sobre el segundo eje canónico de diferenciación según la aptitud en el caballo Lusitano.....	83
Figura 3.14. Análisis discriminante canónico para las variables biocinemáticas, agrupando los animales por aptitud (doma, rejoneo o indeterminada) en el caballo Lusitano; representación gráfica de los dos primeros ejes junto con el peso relativo de las variables	84

Figura 3.15. Representación gráfica de las medias (\pm d.E.) de las variables biocinemáticas con más peso sobre el primer eje canónico de diferenciación según la aptitud en el caballo Lusitano.....	85
Figura 3.16. Representación gráfica de las medias (\pm d.E.) de las variables biocinemáticas con más peso sobre el segundo eje canónico de diferenciación según la aptitud en el caballo Lusitano.....	85
Figura 3.17: Histograma de frecuencias del coef. de consanguinidad de los 88 animales de la muestra.....	86



RESÚMENES

El caballo Lusitano es una raza equina autóctona portuguesa, bastante apreciada y valorada como animal de silla. La selección en esta raza se ha estado realizando hasta el momento actual basándose únicamente en caracteres fenotípicos, como pueden ser las puntuaciones morfológicas y los resultados deportivos, pero actualmente se está planteando la implementación de un Esquema de Selección a partir de caracteres objetivos que permitan la valoración genética precoz de los animales. Para ello, es necesario evaluar caracteres morfológicos y locomotores que estén relacionados con la aptitud deportiva.

En este trabajo hemos pretendido hacer una caracterización de los principales parámetros morfométricos y biocinemáticos del caballo Lusitano, para lo cual se han medido 322 variables (30 morfométricas y 292 biocinemáticas) mediante la aplicación de marcadores sobre 16 referencias anatómicas, seguida de captura de datos empleando un método videográfico en tres dimensiones, en que se filmaron los animales al trote guiado a la mano. La muestra de estudio fue de 88 animales, machos adultos inscritos en el Libro Genealógico del Caballo Pura Sangre Lusitano, con un rango de edad comprendido entre los 4 y los 13 años, procedentes de 12 explotaciones, entre las que se incluían centros de entrenamiento para doma y rejoneo.

La mayor parte de las variables morfométricas estudiadas han presentado coeficientes de variación interindividuales que han oscilado entre el 3,0 y el 14,0%, e intraindividuales entre el 1,0 y el 5,0%. La variable que demostró menor variación ha sido la alzada a la cruz. En cuanto a las variables biocinemáticas, los coeficientes de variación interindividuales han presentado un rango extremadamente amplio, entre 0,4% (para la inclinación del metacarpo en el instante de apoyo medio) y los 102,4% (para el instante, en porcentaje del tranco, en que ocurrió el ángulo máximo de la articulación del carpo). Sin embargo, para la mayoría de las variables analizadas, los coeficientes de variación entre individuos fueron inferiores al 15,0%. Las variaciones intraindividuales se han situado, con algunas excepciones, por debajo del 5,0%.

Tras haber elegido un conjunto de 24 variables morfométricas y 21 variables biocinemáticas para su inclusión en el estudio genético, en función de su variabilidad y de las correlaciones establecidas con las demás variables, eliminando todas aquellas que resultaban de la combinación de otras, se ha realizado un análisis de varianza para ver los factores que más influyen en las variables. El factor explotación de procedencia ha influenciado significativamente a 12 variables morfométricas y 8 variables biocinemáticas, mientras que el factor velocidad influenció significativamente a 12 de las variables biocinemáticas. En el análisis de componentes principales para las variables morfométricas, los dos primeros componentes explican respectivamente el 16,5% y el 14,3% de la varianza. El primer componente ha tenido más influencia sobre las variables corporales relacionadas con la proporcionalidad y el tamaño del caballo, como las alzadas a la cruz y al coxal y las longitudes del tronco y del dorso. En cuanto al segundo componente, se ha visto más influenciado un conjunto de variables relacionadas con el tronco del caballo, como las longitudes de tronco, dorso y grupa y las inclinaciones de la espalda y del muslo. En el análisis para las variables biocinemáticas, las lineales y temporales se han visto más afectadas por el factor uno, que explicó el 28,4% de la varianza, mientras que las angulares han sufrido una mayor influencia del factor dos, que explicó el 17,0% de la varianza.

Para determinar si existe una influencia de la aptitud de los animales sobre los perfiles morfométricos y biocinemáticos, se ha realizado un análisis discriminante canónico. En cuanto a los caracteres morfométricos, la primera variable canónica ha permitido distinguir claramente el grupo de animales con aptitud para la Doma de los demás; en este eje, las variables que aportaron un peso superior han sido las referentes a las regiones más proximales de los miembros, como la longitud de la grupa ó la inclinación del muslo. La segunda variable canónica distinguió los animales con aptitud para el Rejoneo, aunque con menos claridad. En ello han influido más las variables relacionadas con las extremidades, como la longitud de la cuartilla torácica ó la inclinación de la cuartilla pelviana. Para los caracteres biocinemáticos, la primera variable canónica ha permitido hacer una distinción entre el grupo de caballos con aptitud Indeterminada y el grupo con aptitud Doma, y para ello han contribuido las variables más influenciadas por la velocidad, como la distancia de sobrehuella ó el rango de variación del ángulo de retracción-protracción pelviano. Los animales con aptitud Rejoneo se han visto más delimitados por la segunda variable canónica, aunque no hayan presentado una diferenciación tan clara con los dos otros grupos. En ese eje las dos variables que más han influido han sido las máximas elevaciones de las coronas torácica y pelviana.

Por último, se han estimado los parámetros genéticos utilizando metodología REML bajo un modelo animal multivariado. El 75% de las variables morfométricas y el 86% de las biocinemáticas poseen heredabilidades superiores al 30,0%. En cuanto a las correlaciones genéticas estimadas, el 12,5% fueron de valor superior al 50%. Las variables que más se han correlacionado con las demás han sido la duración de la fase de vuelo del miembro torácico, el rango de variación angular del menudillo torácico, el ángulo mínimo de retracción-protracción del miembro torácico, la amplitud de tranco pelviano, la distancia de sobrehuella, la inclinación de la pierna y la inclinación de la cuartilla pelviana (todas estas variables establecieron, por lo menos, 5 correlaciones de valor absoluto superior al 50%).

En general podemos afirmar que existe un conjunto de variables morfométricas y biocinemáticas del trote del caballo Lusitano que reúnen las características necesarias para su introducción en un futuro Esquema de Selección, aunque para su valoración de forma sistemática sea necesario establecer un conjunto de condiciones físicas y metodológicas que permita reducir las fuentes externas de variación, como el uso de un tapiz rodante que facilite evaluar todos los animales a una velocidad prefijada y la imposición de una edad temprana de evaluación, que permita reducir la influencia del entrenamiento. En un primer análisis, las variables morfométricas que nos han parecido más interesantes desde el punto de vista de sus parámetros genéticos y de su influencia sobre la calidad de los aires han sido la longitud del tronco, la inclinación de la espalda y la inclinación de la pierna, mientras que de entre las variables biocinemáticas hemos elegido la amplitud de tranco pelviano, la duración de la fase de vuelo pelviano y el ángulo mínimo de protracción-retracción del miembro pelviano.

O cavalo Lusitano é uma raça equina autóctone portuguesa, bastante apreciada e valorizada enquanto animal de sela. Até à data, a selecção nesta raça baseou-se unicamente em caracteres fenotípicos como as pontuações morfológicas e os resultados desportivos, mas actualmente discute-se a possibilidade de implementar um Esquema de Selecção a partir de caracteres objectivos que permitam a avaliação genética precoce dos animais. Para tal é necessário avaliar características morfológicas e locomotoras que estejam relacionadas com a aptidão desportiva.

Neste trabalho pretendeu-se fazer uma caracterização dos principais parâmetros morfométricos e biocinemáticos do cavalo Lusitano, tendo para isso medido 322 variáveis (30 morfométricas e 292 biocinemáticas) mediante a aplicação de marcadores sobre 16 referências anatómicas, seguida da captura de dados utilizando um método videográfico em 3 dimensões, tendo os animais sido filmados a trote conduzido à mão. A amostra constou de 88 animais, machos adultos inscritos no Livro de Nascimentos do Cavalos Puro Sangue Lusitano, com idades compreendidas entre os 4 e os 13 anos, e provenientes de 12 explorações, entre as quais se incluíam centros de treino e ensino de cavalos e quadras de toureio.

A maior parte das variáveis morfométricas estudadas apresentou coeficientes de variação entre indivíduos que oscilaram entre 3,0 e 14,0%, e intraindividuais entre 1,0 e 5,0%. A variável que apresentou uma variação mais baixa foi a altura ao garrote. Quanto às variáveis biocinemáticas, os coeficientes de variação entre indivíduos situaram-se dentro de intervalo bastante alargado, entre 0,4% (para a inclinação do metacarpo no instante de apoio médio) e 102,4% (para a percentagem da passada em que ocorre o mínimo ângulo da articulação do carpo). No entanto, para a maioria das variáveis em análise os coeficientes de variação interindividuais situaram-se abaixo dos 15%. As variações intraindividuais situaram-se, com algumas excepções, abaixo dos 5%.

Após a escolha de um conjunto de 24 variáveis morfométricas e 21 variáveis biocinemáticas para a realização do estudo genético, em função da sua variabilidade e das correlações estabelecidas entre elas, e eliminando todas as variáveis resultantes da combinação de outras, efectuámos uma análise de variância para ver quais os factores que mais influenciaram as variáveis em estudo. O factor exploração de procedência influenciou significativamente 12 variáveis morfométricas e 8 variáveis biocinemáticas, e o factor velocidade teve influência significativa sobre 12 variáveis biocinemáticas. Na análise de componentes principais para as variáveis morfométricas os dois primeiros componentes explicaram, respectivamente, 16,5% e 14,3% da variância. O primeiro componente teve mais influência sobre as variáveis corporais relacionadas com a proporcionalidade e o tamanho do cavalo, como as alturas ao garrote e à ponta da anca e o comprimento do tronco e do dorso. O segundo componente influenciou mais um conjunto de variáveis relacionadas com o tronco do cavalo, como o comprimento do tronco, do dorso e da garupa e as inclinações da espádua e da coxa. Na análise para as variáveis biocinemáticas, as variáveis lineares e temporais foram mais influenciadas pelo primeiro componente, que explicou 28,4% da variância, enquanto que as variáveis angulares sofreram uma maior influência do segundo componente, que explicou 17,0% da variância.

Para determinar se a aptidão dos animais influenciou os perfis morfométricos e biocinemáticos, realizou-se uma análise discriminante canónica. Quanto aos caracteres

morfométricos, a primeira variável canónica permitiu distinguir claramente o grupo de animais com aptidão Ensino dos restantes; as variáveis que contribuíram com um peso superior neste eixo foram as relacionadas com as regiões proximais dos membros, como o comprimento da garupa ou a inclinação da coxa. A segunda variável canónica distinguiu os animais com aptidão Toureio, embora de forma menos explícita. Nela influíram mais as variáveis relacionadas com as extremidades, como o comprimento da quartela do membro torácico ou a inclinação da quartela do membro pélvico. Para os caracteres biocinemáticos, a primeira variável canónica permitiu fazer uma distinção entre o grupo de animais com aptidão Indeterminada e o grupo com aptidão Ensino, tendo para isso contribuído as variáveis mais influenciadas pela velocidade, como o comprimento da sobrepista ou o intervalo de variação do ângulo de protração-retração do membro pélvico. A segunda variável canónica separou principalmente os animais com aptidão Toureio, embora a diferenciação não fosse tão evidente como no caso dos outros dois grupos. As duas variáveis que mais influenciaram este eixo foram as elevações máximas dos bordos coronários do membro torácico e do membro pélvico.

Por último, estimaram-se os parâmetros genéticos utilizando metodologia REML mediante um modelo animal multivariado. A grande maioria das variáveis morfométricas (75%) e biocinemáticas (86%) possuem heritabilidades superiores a 30,0%. Quanto às correlações genéticas estimadas, 12,5% tiveram um valor superior a 50%. As variáveis que mais se correlacionaram com as restantes foram a duração da fase de voo do membro torácico, o intervalo de variação angular do boleto do membro torácico, o ângulo mínimo de protração-retração do membro torácico, a amplitude da passada do membro pélvico, o comprimento de sobrepista, a inclinação da perna e a inclinação da quartela do membro pélvico (todas estas variáveis estabeleceram pelo menos 5 correlações genéticas de valor absoluto superior a 50%).

Este estudo permitiu-nos verificar a existência de um conjunto de variáveis morfométricas e biocinemáticas do trote do cavalo Lusitano que reúnem as características necessárias para a introdução num futuro Esquema de Selecção, embora a sua avaliação de forma sistemática exija o estabelecimento de um conjunto de condições físicas e metodológicas que permita a redução das fontes externas de variação, como a utilização de uma passadeira rolante que permita avaliar todos os animais a uma velocidade fixa, e a imposição de um limite de idade precoce para a realização da avaliação, de forma a obviar a possível influência do treino. Numa primeira análise, as variáveis morfométricas que nos pareceram mais interessantes do ponto de vista dos parâmetros genéticos apresentados e da sua influência na qualidade dos andamentos foram o comprimento do tronco, a inclinação da espádua e a inclinação da perna, enquanto que de entre as variáveis biocinemáticas escolhemos a amplitude da passada do membro pélvico, a duração da fase de voo do membro pélvico e o ângulo mínimo de protração-retração do membro pélvico.

The Lusitano is an appreciated Portuguese autochthonous saddle horse breed. Up till now, the selection of this breed has depended entirely on phenotypical traits, such as morphological scores and performance results, but nowadays the possibility of establishment of a breeding scheme based on objective traits, that allows for the early genetic evaluation of horses, has been brought to discussion. In order to do so, it is necessary to assess the conformation and locomotion traits that may be connected with sports performance.

In this study we tried to evaluate the main morphological and kinematic traits of the Lusitano horse, having for such purpose measured 322 traits (30 of them were morphological and the remaining 292 were kinematic). We applied marks over 16 anatomical references on the right side of the horse's body, and then captured data using a three dimension videographic system, with the horses being filmed at hand-led trot. Our sample was of 88 male adult animals, registered on the Lusitano Stud Book, aged between 4 and 13 years old, and belonging to 12 different locations, that included stud farms, farms where horses were trained for dressage and others where horses were used in bullfights.

Our results show that most of the morphological traits presented interindividual variation coefficients between 3,0 and 14,0%, and intraindividual variation coefficients between 1,0 and 5,0%. The trait with the lowest variation coefficient was the height at withers. As for kinematic traits, the variation coefficients varied within a broad range of values, between 0,4% (slope of metacarpus at midstance) and 102,4% (percent of step at minimum carpal angle). Nevertheless, most traits showed variation coefficients below 15%. Intraindividual variation coefficient, with few exceptions, were under 5%.

After choosing 24 morphological and 21 biokinematic variables for the genetic study, based on their variability and their correlations, and eliminating all traits obtained from combinations of others, we did an analysis of variance to sort out the factors that influenced the studied traits. The "farm" factor significantly influenced 12 of the morphological and 8 of the biokinematic traits, and 12 biokinematic traits also suffered the influence of the "speed" factor. In a principal component analysis for morphological traits, the first two components explained 16,5% and 14,3% of the observed variance, respectively. The first component was influenced by traits that regard the size and proportions of the horse, such as height at withers, height at hip, length of trunk and length of back. The second component gathered traits concerning the horse's trunk, such as length of trunk and back and slope of shoulder and thigh. The principal component analysis for biokinematic traits gathered mainly linear and temporal traits, explaining 28,4% of variance, while the second component, which explained 17,0% of the variance, was influenced by angular variables.

In order to determine whether the ability of horses had any influence on the morphological and kinematic profiles, a canonical discriminant analysis was performed. For morphological traits, the first canonical variable separated animals with dressage ability from other animals; the traits with higher weight in this axis were traits that belonged to the upper limbs, such as croup length and slope of thigh. The second canonical variable separated animals with bullfighting ability, although less clearly. In this axis the main influence was from traits belonging to lower limbs, such as length of fore pastern or slope of hind pastern. As for biokinematic traits, the first canonical variable separated the undetermined ability horses from the dressage ability horses, with

the influence of speed-dependent traits, such as overtrack length or hindlimb protraction-retraction angular range of motion. The second canonical variable separated mainly the bullfighting ability horses, even though the groups were rather intersected. The traits that weighed the most were maximum elevations of fore and hindlimb coronets.

Finally, we estimated the genetic parameters using REML methodology with a multivariate animal model. Most morphological (75%) and biokinematic (86%) traits have heritabilities higher than 30,0%. As for the estimated genetic correlations, 12,5% were higher than 50,0%. The traits that expressed a larger number of correlations with other traits were the forelimb swing phase, the forelimb fetlock angular range of motion, the minimum hindlimb protraction-retraction angle, the hindlimb stride length, the overtrack length and the slope of the hind pastern (all these traits established at least 5 correlations higher than 50%).

This work allowed us to acknowledge that there are several morphological and biokinematic traits that fulfil the conditions needed to consider their introduction in a future breeding scheme, even though their systematic evaluation would require a number of physical and methodological requirements to reduce external variation sources, such as the evaluation of horses on a treadmill at fixed speed, and maximum age limit, to avoid the influence of specific training. At a first glance, the morphological variables that strike us as the most interesting ones, from a genetic parameters and importance to gait quality point of view, are the trunk length, the slope of the shoulder and the slope of the leg. Among the biokinematic traits, we chose hindlimb stride length, hindlimb swing phase and minimum hindlimb protraction-retraction angle.



INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

INTRODUCCIÓN

Tras siglos de utilización como instrumento de guerra y de trabajo agrícola, al caballo Lusitano le surge ahora el reto de la funcionalidad deportiva. Fuertemente enraizadas en su cría, siguen manteniéndose sus usos tradicionales, como el toreo a caballo, y las tareas de campo, protagonistas de la modalidad de “equitación de trabajo”, que reúne actualmente un número creciente de practicantes y de entusiastas. Estos usos contribuyen, por un lado, a la conservación de la raza por sus características intrínsecas, y, por otro lado, a la preservación de un valioso patrimonio cultural que es testigo de la ancestral relación del Hombre y del Caballo en la Península Ibérica.

Para que la raza obtenga un reconocimiento internacional por sus cualidades, y para que el interés por su cría crezca, es necesario que sus participaciones en eventos deportivos, como las pruebas de doma clásica, vayan en aumento, y lógicamente los resultados de participación también sigan en una trayectoria ascendente. En los últimos años se han intentado seleccionar a los caballos Lusitanos con aptitud para la doma clásica, y consecuentemente se ha observado una creciente participación en pruebas de nivel nacional e internacional. Pero 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 una inversión económica importante. La búsqueda de caracteres que estén indirectamente relacionados con el rendimiento deportivo, pero que permitan una valoración precoz de los animales, puede ahorrar recursos al ganadero, y permitir la aplicación de medios económicos, que siempre son limitados, en los animales que realmente tengan capacidades deportivas. Por ello, es preciso un estudio más profundo de cuales son las características físicas y temperamentales de la raza, que puedan en el futuro utilizarse como base para la selección y mejora.

El caballo es una especie que ha sido seleccionada por su capacidad de producir un esfuerzo físico, lo que, en la actualidad, significa seleccionar por sus aptitudes deportivas. Cada disciplina hípica requiere un conjunto de cualidades fisiológicas, morfométricas y locomotoras, propias de cada raza. En numerosos países, los métodos de selección están basados en los resultados de competiciones. Sin embargo, en Portugal, y referidos al caballo Lusitano, todavía son escasos los resultados de competiciones de doma clásica respecto al caballo Lusitano. La evaluación del valor genético de un caballo de deporte, sobre sus propios rendimientos, necesita un tiempo en competición suficientemente largo, lo que implica un conocimiento poco preciso del valor genético de los animales a edades tempranas.

Desde el punto de vista genético, un carácter complejo, como 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, por una parte, del genotipo y, por otra, de las influencias del medio ambiente sobre el individuo. Para mejorar la aptitud deportiva de una raza equina mediante selección, es necesario saber que 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 (Barrey, 1992). Se estima que entre el 15 a 25% del rendimiento deportivo en concurso de saltos tiene origen hereditario (Tavernier, 1986 y 1992a), el 25% en carreras de trote (Langlois, 1982) y el 35% en carreras de galope (Langlois,

1980). En concursos de doma clásica, las heredabilidades varían entre los 10% y los 30% (Ricard *et al.*, 2000).

En el caballo, los rendimientos en una disciplina resultan de la convergencia de numerosos factores favorables. Los factores intrínsecos engloban las cualidades neurosensoriales, la capacidad cardio-respiratoria, las potencialidades energéticas musculares y las características locomotoras del individuo. Estos factores son en parte innatos, pero están influenciados por numerosos factores extrínsecos como las condiciones de cría, entrenamiento, el modo de explotación, etc.

Las características locomotoras del caballo son el resultado de la conjugación de fuerzas internas y externas que actúan en el cuerpo del caballo. El análisis biomecánico cuantifica las características que son observadas ó valoradas por un juez ó un entrenador, proporcionando así una perspectiva muy útil de la anatomía, fisiología y locomoción equina (Clayton, 2005). Las técnicas utilizadas en el análisis del movimiento equino son muy numerosas, aunque con el transcurso del tiempo se han ido seleccionando aquellas que permiten una más rápida consecución de los datos, una mayor economía y unos errores metodológicos aceptables. Estos métodos permiten cuantificar los parámetros biocinemáticos que definen, de forma objetiva, los diferentes eventos que tienen lugar durante la locomoción.

La raza es uno de los factores intrínsecos que hacen variar de forma más determinante las características locomotoras de un caballo, dado que cada una de ellas ha sido seleccionada para desarrollar un determinado tipo de modalidad ecuestre, la cual, indudablemente repercute en su biomecánica. En una fase inicial, las investigaciones no tuvieron en cuenta el factor racial, dado que iban encaminadas a desarrollar una metodología adecuada de análisis y a la determinación y selección de los parámetros biomecánicos de mayor interés. Actualmente, dado el interés aplicativo de estas investigaciones y a las repercusiones económicas que sobre el mundo ecuestre pueden dar lugar, la raza se instaure como un factor a considerar de primer orden.

Con el objeto de incorporar en el Esquema de Selección del caballo de Pura Raza Española variables biocinemáticas, se ha realizado recientemente (Valera *et al.*, 2007; Molina *et al.*, 2008) un análisis de los parámetros genéticos de las principales variables locomotoras. La similitud de las dos razas (Pura Raza Española y Puro Sangre Lusitano) es conocida, dado su origen común. No obstante, y aunque esa similitud sea bastante importante tanto desde el punto de vista morfológico (Hartley Edwards, 1994) como desde el punto de vista genético, como lo corrobora el hecho de que existan haplotipos que se encuentran únicamente en estas dos razas (Lopes *et al.*, 2005), debido al hecho de que desde los años sesenta los dos Libros Genealógicos se hayan separado definitivamente, y a que los procesos selectivos hayan tenido objetivos distintos, ha motivado a que las dos razas hayan podido divergir desde el punto de vista funcional (Bowling y Ruvinsky, 2000). Así, es importante que este tipo de estudio se realice también en la raza Lusitana, para que los resultados puedan aplicarse a su selección y mejora genética.

En esta Tesis Doctoral se intentarán evaluar, por primera vez, algunas características biocinemáticas de la raza equina Pura Sangre Lusitano. Además, se analizará un conjunto de datos morfométricos que se han obtenido como una aplicación más de la metodología de captación videográfica y análisis informático de imágenes. Toda esta

información, junto a la estimación de parámetros genéticos para las variables analizadas, constituye una contribución para el conocimiento de las características genéticas de este grupo de variables morfométricas y biocinemáticas que determinan la capacidad locomotora de la raza.

El objetivo final es determinar las variables morfológicas y biocinemáticas más interesantes para realizar una selección precoz en potros Lusitanos para la aptitud para la doma clásica, dentro de un futuro Esquema de Selección de la raza.

OBJETIVOS

Como objetivo general, se propone realizar una caracterización fenotípica y genética del trote en el caballo Pura Sangre Lusitano mediante técnicas videográficas, analizando su respuesta genética a la selección.

En concreto, los objetivos específicos son:

Caracterización de las variables biocinemáticas del trote. Se estudiarán los parámetros angulares, lineales y temporales del trote del caballo Pura Sangre Lusitano, mediante el análisis del movimiento secuencial del conjunto de marcadores anatómicos grabados en vídeo y posteriormente captados por un programa informático de análisis tridimensional del movimiento.

Caracterización morfométrica. Se tomarán las principales medidas zoométricas con el fin de caracterizar morfométricamente al Pura Sangre Lusitano. Así mismo, se correlacionarán las medidas zoométricas con las variables biocinemáticas del trote.

Estimación de los parámetros genéticos de las variables zoométricas y biocinemáticas del trote. Se estimarán por primera vez en esta raza los parámetros genéticos (heredabilidad y correlaciones genéticas) para cada una de las variables analizadas, con el objetivo de determinar las variables a incluir en un futuro Esquema de Selección de la raza.



REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1. EL CABALLO LUSITANO

En este trabajo intentaremos conocer algunas de las características morfométricas y locomotoras del caballo de Pura Sangre Lusitano, raza autóctona de gran prestigio e implantación internacional, que en los últimos años ha sido protagonista de un inusitado interés de la industria equina, por su versatilidad en adaptarse a diferentes modalidades deportivas y por su dócil carácter, y que es, en la actualidad, la única especie pecuaria con algún peso en las exportaciones portuguesas.

1.1. ORÍGENES Y ESTABLECIMIENTO DE LA RAZA

La antigüedad de la presencia de equinos en la Península Ibérica se ha demostrado en primer lugar por hallazgos arqueológicos. Se han estudiado huesos de equinos provenientes de la región del Ribatejo y Oeste, que se han datado del Paleolítico (Andrade, 1939). En la gruta del Escoural, en la región portuguesa del Alentejo, se han descubierto pinturas rupestres representando animales con características todavía reconocibles en los caballos Lusitanos actuales, que se cree daten de entre 17000 y 13000 a.C. (Farinha dos Santos, 1974, apud Cordeiro, 1991). Más recientemente, esta antigüedad ha sido confirmada por los estudios de ADN mitocondrial, que indican que las líneas maternas en la origen de la raza Lusitana son de las más antiguas que se conocen en la especie *Equus caballus* (Machado, 2005), y sugieren la existencia de un centro de domesticación del caballo en la Península (Lopes *et al.*, 2005). Los mismos estudios confirman la estrecha relación genética entre las razas ibéricas y las razas del Norte de África, particularmente el caballo Berberisco (Royo *et al.*, 2005). Los datos de estos estudios apoyan la teoría de que la Península fuera un refugio para caballos salvajes durante la última era glacial (Lopes *et al.*, 2005; Costa Ferreira, 2005).

Sin embargo, la raza ha sufrido diferentes influencias a lo largo de la historia, resultado de las sucesivas incursiones en la Península de los celtas, fenicios, griegos y romanos, vándalos, alanos y suevos, visigodos y, finalmente, árabes. Pero también es verdad que sus calidades como caballo de guerra le han granjeado gran aprecio por toda Europa, y que los movimientos expansionistas ultramarinos de las naciones ibéricas en los siglos XV, XVI y XVII han llevado de nuevo el caballo al continente americano, hecho histórico suportado por los estudios de ADN mitocondrial, que revelan una elevada frecuencia de haplotipos ibéricos en las razas del Nuevo Mundo (Luís *et al.*, 2006).

La cría organizada del caballo Lusitano empieza en el año 1748, con la fundación de la Coudelaria de Alter por el rey D. Juan V de Portugal, destinada a producir caballos selectos para el servicio real. El efectivo reproductor inicial se componía de alrededor de cuarenta yeguas andaluzas, añadidas de algunas más enviadas por un cura de nombre Almendro, de Olivenza (Bernardo Lima, 1913; Garcia Pereira, 1940). Según Bernardo Lima (1913), en 1757 se juntaron a este grupo las yeguas de la entonces extinta ganadería de Portel, y en 1773, nueve yeguas más, provenientes de Salvaterra de Magos. El mismo autor refiere que hasta 1800, los sementales utilizados fueron siempre bellos caballos andaluces, ó bien los mejores productos de la Coudelaria.

La Coudelaria de Alter floreció hasta el final del siglo XVIII, pero en el siglo XIX empezó a sufrir un proceso de decadencia, que fue acompañado de la utilización de diferentes cruces, primero por introducción de algunas yeguas francesas, tomadas en la batalla de Arapiles, en 1812, y con la utilización de un semental de raza Árabe en 1813,

por orden del General Beresford, militar británico que tenía, al tiempo, gran poder en Portugal, por el evento de las Guerras Peninsulares. La idea del cruce racial subsistía todavía en 1842, cuando, del efectivo reproductor de 90 yeguas, 80 se cruzaron con caballos de distintas razas, manteniéndose solamente 10 para la cría en raza pura (Sousa, 1934).



Figura 1.1. Yéguas y potros Alter Real saliendo para el campo en la Coudelaría de Alter (2008).

La decadencia de la producción ganadera de Alter fue progresando, y en 1862, Morais Soares (el primer Director-general de Agricultura en Portugal) refería que la raza de Alter era sin duda la mejor de la Península, pero infelizmente no se habían utilizado los cuidados que merecía, no solo para su mejora, como para su conservación (Furtado Coelho, 1937). Mientras tanto, se establecen los Servicios Coudélicos en 1852 y se fundan las Coudelarias Nacionales (primero en el pueblo de Crato, y luego cambiando diversas veces su localización), inicialmente con un efectivo reproductor fundamentado en yeguas Alter, pero que al final del siglo XIX fue substituido por yeguas cartujanas, que están en el origen del actual efectivo ganadero de la Coudelaria Nacional, situada en la finca de Fonte Boa (Costa Ferreira, 2005).

La primera intervención del estado en la cría caballar portuguesa ocurre con la creación del Depósito de Sementales en 1887 y del Registro de Yeguas Productoras en 1891. Esa intervención tiene como objetivo la remonta del ejército, y ocurre con retraso, con respecto a las demás naciones europeas (Ferraz da Costa, 2005). En Enero de 1889, se publica el Plan General, orgánico y reglamentario, de los Servicios Zootécnicos, donde se crea el Stud Book del ganado caballar, con el objetivo de tornar obligatorio un registro que se había iniciado en 1856, con la creación de las Coudelarias Nacionales. En 1899 ese registro único se reorganiza en registros separados para cada una de las razas de silla, donde aparecen el Árabe, Luso-árabe, Alter, Pura-sangre Ingles y Anglo-árabe, y donde la base para el cruce que resulta en el Luso-árabe (al tiempo, el grupo más numeroso) es llamado de “ganado común del país”. Dicho ganado común gana el estatuto de raza, el nombre de Lusitano y su registro específico en 1942 (Costa Ferreira, 2005).

En inicios del siglo XX, la producción caballar portuguesa era escasa y de poca calidad. Hasta los años 30, el objetivo ganadero nacional se dividía en dos tipos de caballo: el

caballo de silla y el caballo de tiro, y las Comisiones Oficiales de Remonta, que al tiempo tenían una enorme influencia sobre las directrices de la cría, optaron por los cruces con sementales Árabes y Pura-sangre Ingleses, para el primer tipo, y Hackneys y Clevelands, para el segundo. Por esos años, los caballos Alter y Andaluces, aunque no desaparezcan totalmente, son escasamente utilizados como sementales, solo reasumiendo alguna importancia en finales de la década de 30 (Furtado Coelho, 1937).

La intervención de los militares en la cría caballar casi destruye las características únicas del caballo Lusitano, que solo empiezan a recuperarse y defenderse con la intervención del Dr. Ruy d'Andrade, ganadero y zootécnico, que contribuye definitivamente en la conservación de la raza Lusitana, y otras razas autóctonas portuguesas. La ganadería Andrade ha sido, y sigue siendo, una ganadería emblemática para la raza Lusitana. En la misma época empieza a desarrollarse la ganadería Veiga, que también se revelará una de las ganaderías más importantes del caballo Lusitano, fundamentalmente por la importante intervención de su propietario, el ganadero Manuel Tavares Veiga (Ferraz da Costa, 2005). La referida creación del registro del caballo Lusitano en 1942 (y su definición como raza) lleva a que estos y otros ganaderos se adhieran con entusiasmo a la creación de la raza. Su número va creciendo, y en 1967 los ganaderos se asocian, creando la “Associação Portuguesa de Criadores de Raças Selectas”. Esta asociación asume la gestión del *Stud Book*, que pasa ahora a llamarse Libro Genealógico Portugués de Equinos (Costa Ferreira, 2005).

Dicha asociación gestionó el Libro Genealógico Portugués de Equinos hasta que en 1989 un conjunto de socios consideró necesaria la constitución de una asociación que representara exclusivamente la raza Lusitana, con el objetivo de expandir la creación de la raza y darle mayor proyección nacional e internacional. Se creó la “Associação Portuguesa de Criadores do Cavalo Puro Sangue Lusitano”, inicialmente con sesenta ganaderos asociados, y que evolucionó hasta los actuales trescientos veinte (Ferraz da Costa, 2005).

1.2. ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE LA RAZA

Intentaremos describir con brevedad algunas características morfológicas y productivas de la raza Lusitana.

1.2.1. MORFOLOGÍA Y ZOMETRÍA

Para una breve descripción de las características morfológicas del caballo Lusitano, nos basaremos en la versión actual del padrón racial, tal como la expone Cordeiro (2005), y que define las características de un modelo ideal (clasificado con 100 puntos).

En lo que respecta a la clasificación etnológica, el padrón racial define el caballo Lusitano según la nomenclatura de Baron, descrita por Dechambre (1912) y que, como actualmente ha caído en desuso, intentaremos clarificar brevemente. En cuanto a la corpulencia, es un caballo de tipo eumétrico, ó sea, según Baron, con un peso corporal óptimo y natural de la especie, y que favorece al máximo sus funciones vitales. Para Baron, ese peso sería cercano a los 435 Kg., pero el padrón del Lusitano determina un peso corporal alrededor de los 500 Kg. En cuanto a las proporciones, se describe el Lusitano como mediolineo, significando que en su conformación las tres dimensiones (longitud, altura y anchura) se equilibran, y que su silueta se puede inscribir en un cuadrado. Finalmente, en relación al perfil, se define como subconvexilineo, ó sea, de

formas redondeadas. La alzada media a la cruz del Lusitano a los 6 años de edad deberá ser de 155 centímetros para las hembras y 160 centímetros para los machos, y no se aceptan candidatos a la inscripción en Libro de Adultos que a los 4 años midan menos que 152 centímetros (hembras) y 154 centímetros (machos).

Las capas más frecuentes son la torda y la castaña, en todas sus variantes. El carácter es noble, generoso y ardiente, pero siempre dócil y sufridor. Los aires son típicamente ágiles y elevados, proyectándose para delante, suaves y cómodos para el jinete. El Lusitano se describe como un caballo naturalmente apto para la reunión, y muy predispuesto para los ejercicios de Alta Escuela.

El padrón racial describe enseguida las distintas regiones del caballo Lusitano, que podrán consultarse en el anexo I. En la evaluación morfológica para la inscripción en el Libro de Adultos, los jueces puntúan las regiones de la cabeza, espalda, pecho, dorso, grupa y miembros, además del conjunto de formas y de los aires. Cada carácter recibe una puntuación del 1 al 10, pero los caracteres cabeza, espalda, pecho y grupa son multiplicados por un coeficiente 1, mientras que el dorso, los miembros, los aires y el conjunto de formas son multiplicados por un coeficiente 1,5; así se obtiene la puntuación final, que será de 100 puntos como máximo (correspondiendo al tipo racial ideal).

Los trabajos precedentes sobre datos cuantitativos de la morfología del caballo Lusitano son escasos. En la tabla 1.1 se presentan algunas medidas somáticas en el caballo Lusitano de acuerdo con dos autores que han trabajado en dos de las “líneas” tradicionales de la raza: Monteiro (1983), que trabajó con sementales de la Coudelaria Nacional, y Oom y Costa Ferreira (1987), que han trabajado con animales de ambos sexos de la Coudelaria de Alter Real. Monteiro (1983) refiere que ha trabajado con una muestra de animales de elite, y que por eso los datos podrían no ser indicativos de la media de la raza (por ejemplo, según el autor, la alzada a la cruz media de los animales inscriptos en el libro genealógico era de 159 cm para los machos y de 156 cm para las hembras). Las principales conclusiones de Oom y Costa Ferreira (1987) fueron la existencia de un nítido dimorfismo sexual, destacándose particularmente las alzadas y las medidas de los miembros; una gran homogeneidad de la muestra, tomando como criterio el Coeficiente de Variación de las medidas tomadas, que, según Simpson *et al.* (1960), al presentar valores entre 4 y 10, representa en mamíferos una muestra homogénea; y, finalmente, algunas discrepancias entre los animales del grupo estudiado (Alter) y el padrón racial, destacándose como puntos más débiles del modelo la cabeza y cuello cortos, la exagerada curvatura del costillar, la excesiva profundidad del pecho de las hembras y la debilidad de los miembros, particularmente el bajo perímetro de la caña.

Tabla 1.1: Medidas somáticas de caballos Pura Sangre Lusitano.

AUTOR	Monteiro (1983)	Oom y Costa Ferreira (1987)	
GANADERÍA	Coudelaria Nacional	Coudelaria de Alter	
SEXO	Machos	Machos	Hembras
Longitud de la cabeza (cm)	-	61,04	59,88
Longitud del cuello (cm)	-	62,02	60,13
Alzada a la cruz (cm)	160,8 ± 4,3	159,75	156,15
Longitud de la espalda (cm)	-	67,40	66,10
Alzada a la grupa (cm)	160,2 ± 3,8	159,21	154,22
Anchura de la grupa (cm)	54,6 ± 2,4	54,27	53,65
Longitud de la grupa (cm)	54,2 ± 2,2	55,48	55,95
Longitud del tronco (cm)	157,8 ± 4,3	159,27	157,13
Anchura del pecho (cm)	50,2 ± 4,1	46,10	41,65
Profundidad del pecho (cm)	67,3 ± 3,8	74,67	75,03
Alzada del vacío sub-esternal (cm)	88,3 ± 2,4	85,08	81,28
Perímetro torácico (cm)	182,1 ± 6,1	186,58	188,10
Alzada del olécranon (cm)	96,1 ± 2,5	94,54	90,95
Alzada del corvejón (cm)	-	61,13	59,03
Perímetro del antebrazo (cm)	52,9 ± 3,4	38,71	34,95
Perímetro de la rodilla (cm)	32,5 ± 15,4	33,56	30,88
Perímetro del corvejón (cm)	-	43,27	41,08
Perímetro de la caña (cm)	20,1 ± 9,1	20,15	19,15
Perímetro del menudillo (cm)	-	28,08	26,76

1.2.2. PARÁMETROS REPRODUCTIVOS

Por su importancia para la cría de la raza, referimos de forma muy sucinta algunos parámetros reproductivos medios referidos en la literatura.

Según Pires (2003), la edad al primer parto (hembras) ó primer descendiente (machos) en caballos Lusitanos, de acuerdo con la información del Libro Genealógico, y teniendo en cuenta los animales inscritos hasta 1989, es de 6,1 años para las yeguas y 6,9 años para los sementales. En las yeguas, el intervalo medio entre partos es de 22,5 meses. En cuanto a la edad al último parto ó descendiente, el mismo autor refiere valores medios de 10,5 años, para las hembras, y 10,8 años, para los machos. Eso significa que la duración media de la vida productiva en el caballo Lusitano es de alrededor de 5 años, lo que es un valor bajo, cuando comparado con lo de otras razas (Gómez Fernández, 2002).

El número medio de descendientes por animal se sitúa en los 3,89 descendientes por yegua y 12,28 descendientes por semental (Pires, 2003). Al referirnos a la productividad numérica en yeguas, calculada como el número de destetados por cada 100 reproductoras por cada año (Gómez Fernández, 2002), los valores referidos en la literatura para la raza Lusitana son de 62,6% (Barbosa y Abreu, 1986), y de 64,38% para las yeguas de la Coudelaria de Alter (Vieira de Castro, 1962).

1.2.3. CONSANGUINIDAD Y SELECCIÓN

Se encuentran en la literatura valores de consanguinidad para esta raza con alguna variación, probablemente debido a la metodología de cálculo utilizada. Costa Ferreira y Oom (1989), utilizando los registros genealógicos hasta la novena generación, e

incluyendo exclusivamente los animales cuyo índice de integridad del pedigrí fuera igual ó superior a 80%, obtuvieron un coeficiente de consanguinidad medio de la población de 9,03%, situándose en el 14% en los sementales y un poco por debajo del 8% en las hembras. Sin embargo, Pires (2003) calculó la consanguinidad media para la totalidad de la población, obteniendo un valor de 1,76%, y cuando solamente consideró los animales cuyo coeficiente de consanguinidad (F) fue diferente de cero (25,3 % de la muestra), el valor obtenido fue de 7,08%. En una muestra de 444 sementales Lusitanos con $F > 0$, Valera *et al.* (2000) obtuvieron un valor de consanguinidad de 8,23%. Los datos más actuales que hemos consultado (Costa Ferreira, 2005), referentes a los años 1996-1998, y calculados por el primer método referido, indican valores de 8,02% en la población total, con 8,84 % calculados en el efectivo nacional y 6,39% calculados en los animales inscritos en países extranjeros.

Según Costa Ferreira y Oom (1989), la selección practicada por los ganaderos del caballo Lusitano se establece a dos niveles: en la admisión al Libro de Adultos y en la utilización efectiva de los animales como reproductores. Estos autores, basándose en datos de 1980, refieren que, al primer nivel, el porcentaje de animales inscritos en el Libro de Nacimientos que se inscribió en Libro de Adultos (condición necesaria para su utilización como reproductores) fue de 41,3% para los machos, y de 68,5% para las hembras, mientras que al segundo nivel, el porcentaje de animales inscritos en el Libro de Adultos efectivamente utilizados como reproductores fue de 30,4% para los machos y 76,6% para las hembras. Los autores justificaron las diferencias entre sexos por el criterio más riguroso de admisión de los machos al Libro de Adultos (que incluye una evaluación funcional del caballo montado), y por la utilización casi exclusiva de las hembras como reproductoras.

1.3. EL PURA SANGRE LUSITANO EN LA ACTUALIDAD

En lo que respecta a los datos demográficos, la evolución de la raza en los últimos años ha sido muy apreciable. Según Costa Ferreira (2005), las inscripciones en el Libro de Nacimientos han evolucionado de 944 animales en los años de 1978 a 1980, a un total de 4924 animales en los años de 1996 a 1998, siendo que de estos, 1638 animales (33%) fueron inscritos en el extranjero. De entre los países extranjeros donde se cría el Lusitano, Francia, Brasil y México son los más representativos. Sin embargo, los datos del Instituto Nacional de Investigação Agrária e das Pescas (INIAP, 2004), referentes al número de hembras adultas de razas autóctonas en 2004, indican la existencia de 3600 reproductoras inscritas en el Libro Genealógico, lo que clasifica la raza como estando en peligro, de acuerdo con los criterios de la Unión Europea.

Sin olvidar las aptitudes naturales de la raza para el rejoneo y la equitación de Alta Escuela, la gran apuesta de los creadores en los últimos años ha sido la competición deportiva. La Asociación de Creadores apoya la utilización de caballos Lusitanos en la doma clásica desde 1996, y creó en 2002 el proyecto “Caballos Lusitanos en la doma clásica”, con el objetivo de, a medio plazo, llevar caballos Lusitanos a la competición de nivel más elevado (Ralão Duarte, 2005) (figura 1.1). También se ha apoyado la modalidad de enganche, y con gran entusiasmo la equitación de trabajo, donde los jinetes que practican la equitación tradicional portuguesa han obtenido buenos resultados en los últimos años. Esta modalidad estimula, no solamente la utilización de la raza Lusitana, como también la preservación de los principios ecuestres tradicionales, que representan un valor cultural del país.

Respeto al futuro de la raza Lusitana, Ferraz da Costa (2005) defiende los siguientes objetivos: (i) el reconocimiento de que el tipo racial se encuentra fijado de forma homogénea en el efectivo; (ii) la progresiva valorización de la información funcional, resultante de la participación en competiciones deportivas de un número creciente de animales de ambos los sexos; (iii) el fomento de la participación y presentación pública de los sementales a lo largo de su vida reproductiva; y (iv) la intensa selección del efectivo reproductor femenino, con la introducción a breve plazo de criterios de funcionalidad en la evaluación de las reproductoras.



Figura 1.2: Mafalda Galiza Mendes en el Lusitano *Owmi*, en una prueba de Grande Premio con música (Kür) (Reguengos de Monsaraz, 2006).

Curiosamente, algunos de los mejores resultados deportivos de los caballos Lusitanos no han sido obtenidos por intermedio de jinetes portugueses. El conocido semental *Novilheiro* llegó a ser el caballo de saltos más ganador en Inglaterra en el año de 1983, montado por el jinete John Whitaker. En la doma clásica, tenemos como ejemplos más conocidos la presencia en los Juegos Olímpicos de Barcelona (1992) del caballo *Orphée*, montado por la jinete francesa Catherine Durand, ó el más reciente *Guizo*, miembro del equipo olímpico español de doma clásica con Juan Antonio Jiménez, y presente a los Juegos Olímpicos de Sydney (2000) y de Atenas (2004), en los que España obtuvo la medalla de plata en la competición por equipos. También en la modalidad de enganches con cuatro caballos, los caballos Lusitanos han sido campeones del mundo por dos veces (1996 y 2006), siempre conducidos por el belga Félix-Marie Brasseur. Estos resultados son, sin embargo, estimulantes para los ganaderos, y contribuyen a la afirmación internacional de la raza.

2. LA BIOMECÁNICA EQUINA

Se puede definir la biomecánica como el estudio científico de la estructura y función de los sistemas vivos utilizando los principios de la física (Clayton, 2005). Debido a que los organismos vivos siguen una mecánica newtoniana, hay dos aproximaciones complementarias para estudiar el cuerpo en movimiento: la cinemática y la cinética ó dinámica, pudiendo sistematizar el estudio de la biomecánica en biocinemática y biocinética (Cano, 1999a). En los últimos años se han desarrollado técnicas que permiten evaluar variables biocinemáticas ó biocinéticas en los estudios de locomoción equina. La biocinemática estudia el movimiento en sí mismo, sus características geométricas (lineales y temporales), sin entrar a analizar las causas (ó sea, las fuerzas) que lo producen. Estudia, por tanto, los cambios en la posición de segmentos del cuerpo en el espacio durante un tiempo dado. La biocinética, por su parte, se ocupa del estudio de las fuerzas que motivan ó modifican el movimiento, ó bien producen deformación (Dalin y Jeffcott, 1985).

2.1. BREVE NOTA HISTÓRICA

Aunque la relación entre el caballo y el hombre lleve ya miles de años de historia, las primeras descripciones del movimiento equino las realizó Aristóteles (alrededor del año 325 AC) en su tratado *De Motu Animalium* (Nussbaum, 1978).

En los siglos XVI y XVII, el desarrollo de distintas escuelas de equitación en Italia, España, Portugal, Francia y Austria hizo aumentar el interés y los conocimientos sobre la conformación del caballo, debido fundamentalmente a su utilización en las escuelas académicas de equitación y a su uso militar (Barrey, 1999a). En el siglo XVIII, en Francia, Goiffon y Vincent (1779), discípulos de Bourgelat, clasificaron los aires del caballo, distinguiéndolos en aires simétricos y asimétricos, y relacionando el aire con la velocidad. Se ha podido también comprender, por la observación de las huellas, que el trote tiene una fase de apoyo y una fase de suspensión. Estos datos se recogieron en el libro: *Traité de la conformation extérieure du cheval* (Bourgelat, 1803).

Hacia la mitad del siglo XIX, aún se discutía si en los aires más rápidos existían momentos de suspensión de todos los miembros en el aire. La gran revolución en el análisis de la locomoción del caballo se debe a los esfuerzos de dos hombres: el fotógrafo americano Eadweard Muybridge y el fisiólogo francés Etienne Jules Marey. Estos han sido los primeros en aplicar la tecnología de su tiempo al estudio de la locomoción del caballo (Van Weeren, 2001).

En 1879, Muybridge realiza en San Francisco pruebas fotográficas que revelan los principales tiempos de los aires del caballo a través de un complejo sistema de varias cámaras fotográficas, con interruptores activados por el mismo animal al desplazarse, en lo que Lesbre (1920) llamó el procedimiento de las fotografías instantáneas. Pero sin embargo, fueron los estudios de Marey los precursores de las técnicas modernas de análisis de la locomoción de caballo. Sus técnicas de cronofotografía le permitieron llegar hasta una resolución de 100 imágenes por segundo. Lesbre (1920), comparando los dos métodos (el de las fotografías instantáneas de Muybridge y el de la cronofotografía, imaginado por Marey), refirió las ventajas del segundo. El mismo autor comenta también como Marey utilizó la marcación de los centros articulares con puntos brillantes, que permitirían después el análisis en las fotografías de los ejes de movimiento de cada miembro. En 1889, con la utilización de películas Kodak, Marey obtiene una frecuencia de 50 Hz y una exposición de 1/4000 segundo. Además, fueron suyas las primeras graficas experimentales de representación del miembro en movimiento (cinogramas) (Marey, 1894).

El período de dominio francés en el estudio de la locomoción terminó a finales del siglo XIX. La primera mitad del siglo XX fue el período de supremacía de los científicos alemanes, con los anatomistas Willem Ellenberger (1848-1928) y Hermann Baum (1864-1932) como dos de sus mejores exponentes. Los alemanes utilizaron y perfeccionaron las técnicas de Muybridge y Marey (Van Weeren, 2001). Anschütz perfecciona el método de Muybridge, que servirá de referencia hasta la segunda mitad del siglo XX. En el período anterior a la segunda guerra mundial, el caballo sigue siendo un instrumento para la acción militar, y se realizan estudios que relacionan la conformación y la locomoción (Wiechert, 1927; Buchmann, 1929; Kronacher y Ogrizek, 1931; Franke, 1935; *apud* Van Weeren, 2001).

En la segunda guerra mundial, queda claro que el papel bélico del caballo ha terminado, tras 5000 años de historia. Con el desarrollo de la industria automóvil, el caballo perdió su utilidad como medio de transporte, y el número de caballos bajó radicalmente en todo el mundo. En los Estados Unidos, por ejemplo, el número de caballos era de 21 millones en 1918. Tras el año 1921, cuando la producción de automóviles sobrepasó la marca de 1 millón de unidades, el número de caballos quedó por debajo de la mitad, siendo que en 1947 su número era de 8 millones (Simpson, 1951, *apud* Van Weeren, 2001). Con el descenso de la producción de caballos, bajó también el interés por el estudio de sus características locomotoras.

Con el auge económico que caracterizó a los años sesenta, el caballo volvió a tornarse popular, gracias al florecimiento del deporte ecuestre. El caballo que había perdido su papel utilitario adquiere ahora el papel de atleta de elite, y los años setenta fueron el inicio del período moderno del estudio de las características locomotoras del caballo, ahora con la finalidad de estudiar y optimizar su utilización en las modalidades deportivas.

2.2. CONCEPTOS Y TERMINOLOGÍA EN CINEMÁTICA EQUINA

Aunque la terminología es fluida, y va cambiando a medida que las técnicas evolucionan y el conocimiento aumenta, intentaremos en ese trabajo utilizar los términos universalmente aceptados por los que trabajan en la biomecánica equina, y para los cuales han contribuido los trabajos de Drevemo *et al.* (1980a), Leach *et al.* (1984) y Leach (1993), entre otros.

Los miembros individuales se designan por anteriores ó torácicos (izquierdo y derecho), y posteriores ó pelvianos (izquierdo y derecho). Los pares de miembros suelen designarse *ipsilaterales* (miembro torácico y pelviano del mismo lado), *contralaterales* (miembros torácicos ó pelvianos de lados contrarios) y *diagonales* (miembro torácico de un lado y pelviano del lado contrario) (Leach, 1993). Los pares de miembros diagonales e ipsilaterales son nombrados derechos ó izquierdos, atendiendo al miembro pelviano del par (Leach *et al.*, 1984; Clayton, 1989).

Un *tranco* es un ciclo completo de movimientos coordinados de los miembros (Clayton, 2005), y constituye la unidad locomotora de los distintos aires (Galisteo *et al.*, 2001a). Aunque generalmente se acepta el patrón repetitivo del conjunto de los cuatro miembros para definir el tranco, este también se ha definido como la serie básica repetida del movimiento de cada miembro individualmente (Dalin y Jeffcott, 1985). En esta definición se considera un tranco de un miembro como el ciclo completo que ese miembro describe en un determinado aire.

Los ciclos de los miembros considerados individualmente se descomponen en una *fase de apoyo*, en la que el miembro está en contacto con el suelo, y una *fase de vuelo*, en la que éste queda suspendido en el aire. La fase de apoyo comienza con la colocación de los talones, la suela ó las lumbres y termina con el despegue de los mismos (Leach, 1993). El contacto puede ser primero con el talón ó con el casco pleno en paso lento, y siempre con el talón en paso rápido y otros aires naturales. En los caballos, la elevación de los talones suele ocurrir antes de que el miembro sea separado del suelo (Leach, 1993). A esa fase terminal de la fase de apoyo, durante la cual los talones rotan alrededor del eje de las lumbres, que se mantienen en el suelo, se conoce por

“*breakover*” (Clayton, 2005). La fase de apoyo se puede dividir en dos fases: una fase inicial (*fase de frenado*) seguida por una fase posterior (*fase de propulsión*). Entre la fase de frenado y la fase de propulsión ocurre la posición de apoyo medio, “*midstance*”. La posición de apoyo medio ha sido definida por el instante en que el metacarpo se encuentra en la vertical, en el miembro anterior, y por el instante en lo cual el casco se encuentra en la vertical de la articulación de la cadera, en el miembro posterior (Drevemo *et al.*, 1980a). Esta división se basa en la demostración experimental de que las fuerzas horizontales entre el casco y el suelo cambian en el apoyo medio desde una fuerza frenadora en la primera parte de la fase de apoyo a una fuerza propulsora en la última parte (Pratt y O’Connor, 1976).

En caballos de deporte, se prefieren fases de apoyo cortas y fases de vuelo largas, lo que se asocia a una mayor cadencia del trote, y a más elevación en el galope. La capacidad de acortar la duración de la fase de apoyo implica que el caballo tenga que desarrollar energía suficiente para generar fuerzas de reacción con el suelo y impulsiones más elevadas en un período de tiempo más corto (Clayton, 2005).

En lo que respecta a las variables cinemáticas del tranco, estas se dividen en variables lineales, temporales y angulares. Dentro de las variables lineales, nos interesan la amplitud ó longitud de tranco, y la longitud de sobrehuella. La amplitud de tranco es, según distintos autores, la distancia horizontal en el plano X-Y cubierta durante un tranco (Leach *et al.*, 1984), la distancia recorrida por el centro de masa del caballo durante un tranco (Clayton, 1989), ó la distancia linear entre dos pisadas consecutivas del mismo pie (Dalín y Jeffcott, 1985; Muir *et al.*, 1991). Será esa última la definición que utilizaremos en ese trabajo. La *longitud de sobrehuella* fue definida por Drevemo *et al.* (1980a) como la distancia en la que el casco del miembro pelviano precede la huella que deja el casco del miembro torácico ipsilateral.

En cuanto a las medidas temporales, *la duración* del tranco de un miembro será el tiempo transcurrido entre dos sucesos idénticos del ciclo de ese miembro (Muir *et al.*, 1991) o, en otras palabras, el tiempo necesario para que se complete un ciclo completo (Leach *et al.*, 1984; Clayton, 1989). El número de trancos por unidad de tiempo se denomina la *frecuencia de tranco* (Clayton, 1989). Las variaciones en la duración del tranco entre diferentes caballos, o en el mismo caballo pero a velocidades diferentes, torna difícil la comparación de variables temporales. Esa comparación se simplifica mediante un proceso de normalización del tranco, que considera la duración de un tranco como una unidad de tiempo, y describe los distintos eventos temporales en términos de porcentajes de la duración del tranco. Esto facilita la comparación de la duración de las distintas fases del tranco, ó del momento en que ocurre un determinado hecho (Clayton, 2005).

Los movimientos rotacionales de los segmentos de los miembros se convierten en movimientos de traslación del cuerpo del caballo. El análisis cinemático evalúa esos movimientos. El proceso analítico es, en muchos estudios, simplificado, limitando el análisis al plano sagital, ó sea, a la observación del caballo lateralmente (Clayton y Schamhardt, 2001; Clayton, 2005). Esta simplificación es aceptable, pues en los équidos, la mayoría de las articulaciones de los miembros está limitada a los movimientos de flexión y extensión. Solamente las articulaciones de la cintura pelviana y pectoral son capaces de ejecutar movimientos laterales y de rotación, siendo estos movimientos de muy baja magnitud en las demás articulaciones (Denoix y Pailloux,

1997). Sin embargo, en los últimos años se han publicado algunos trabajos sobre el estudio cinemático tridimensional del movimiento de las extremidades del caballo, donde se han estudiado los movimientos extra sagitales, con objetivos de índole clínico (Chateau *et al.*, 2002; Chateau *et al.*, 2004; Chateau *et al.*, 2006).

La *flexión* reduce el ángulo entre dos segmentos del miembro, mientras la *extensión* aumenta ese mismo ángulo. Algunas de las articulaciones de los miembros del caballo, como la metacarpofalangiana y la metatarsofalangiana, exhiben extensiones que sobrepasan los 180°, en cuyo caso el movimiento se denomina *sobreextensión* (Leach, 1993) ó *hiperextensión* (Burn *et al.*, 2006). La mayoría de los autores consideran los ángulos articulares por la cara flexora (Adrian *et al.*, 1977), si bien otros los consideran positivos ó negativos en función de la alineación de los rayos óseos que determinan la articulación, siendo positivos si el distal oscila cranealmente y negativos en caso contrario (Charteris *et al.*, 1979; Back *et al.*, 1993a, 1993b; Van Weeren *et al.*, 1993). La flexión y extensión de las articulaciones más proximales, principalmente la articulación de la cadera en el miembro pelviano y la del codo en el miembro torácico, basculan el miembro hacia adelante y hacia atrás, paralelamente al eje longitudinal del cuerpo. La flexión del carpo y del tarso eleva al casco del suelo durante la fase de vuelo. Las articulaciones del menudillo, de la cuartilla y la interfalangiana distal asisten en la elevación del miembro en la fase de vuelo, y amortiguan los impactos durante la fase de apoyo del miembro (Clayton, 2005).

Según Denoix y Pailloux (1997), los movimientos de protracción y retracción se producen por la contracción de grupos musculares compuestos. La protracción describe el movimiento en el que el caballo produce la extensión del miembro para adelante hacia el apoyo, mientras que la retracción es el movimiento en el que el caballo subsecuentemente retira el miembro hacia atrás, produciendo propulsión. Según Clayton (2005) la retracción implica una rotación hacia atrás, relativamente al cuerpo, mientras que la protracción implica una rotación hacia delante. En el miembro torácico, el ángulo de retracción-protracción es el ángulo formado por la línea que une el punto medio de la escápula proximal al casco con la línea horizontal que pasa por ese mismo punto en la escápula, mientras que en el miembro pelviano, el ángulo se define por la línea que une el centro de la articulación de la cadera al casco y la línea horizontal que pasa por dicha articulación.

2.3. MÉTODOS UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS BIOMECÁNICO

El primero, y más utilizado, medio de análisis de la locomoción del caballo es el ojo humano. Sin embargo, el examen visual conlleva siempre un grado de subjetividad, inherente al hecho de que dos seres humanos siempre observan al mismo evento de manera diferente, aun que posean formación y experiencia previas. La utilización de métodos cuantitativos de análisis en la locomoción equina presenta ventajas sobre la observación subjetiva, ya que los datos obtenidos pueden ser comparados, clasificados y, además, pueden realizarse sobre ellos toda clase de análisis estadísticos (Cano, 1999a).

2.3.1. ANÁLISIS BIOCINEMÁTICO

El análisis biocinemático cuantifica las variables de la locomoción que se valoran cualitativamente en la observación visual. La cinematografía de alta velocidad fue la

técnica más frecuentemente utilizada en el pasado (Clayton y Schamhardt, 2001). Esta técnica presentaba como ventaja el hecho de mostrar a la perfección el movimiento, por tener una resolución temporal muy aceptable al permitir grabar a unas velocidades de obturación altísimas (Cano, 1999a). Sin embargo, dejó de utilizarse por su complejidad y coste elevado. El TrackEye (Innovativ Vision AB, Linköping, Suecia) es un sistema de digitalización de imagen que procesa la película de alta velocidad y ofrece datos bidimensionales rigurosos, que actualmente se pueden utilizar para la reconstrucción tridimensional a través de paquetes informáticos adecuados (Clayton y Schamhardt, 2001).

Los sistemas de videografía, combinados con paquetes informáticos de análisis, son muy populares en el análisis cinemático de equino (Clayton y Schamhardt, 2001). Con la mejora de los sensores de las videocámaras, hay disponibles muchas cámaras de alta velocidad profesionales (100-2000 imágenes/s) y videocámaras domésticas (PAL ó NTSC Standard: 25-30 imágenes/s ó 50-60 campos/s) para análisis de la locomoción (Barrey, 1997). La señal de video puede ser tratada por una interface de vídeo para digitalizar las imágenes que a continuación son analizadas por un software adecuado para obtener de manera automática ó semiautomática las coordenadas de los marcadores en el espacio y en el tiempo (Drevemo *et al.*, 1993). Algunos ejemplos de sistemas basados en la videografía utilizados con caballos son el Ariel Performance Analysis System (Ariel Dynamics Inc., Trabuco Canyon, CA.), el ExpertVision (Motion Analysis Corp., Santa Rosa, CA.) ó el Peak Performance System (Peak Performance Technologies Inc., Englewood, CO.), entre otros.

Los sistemas optoelectrónicos son, en muchos aspectos, semejantes a los sistemas de videografía. Existen varios sistemas que utilizan marcadores activos (que emiten un señal), ó marcadores pasivos (que detectan ó reflejan un señal). La utilización de estos sistemas está generalmente limitada a condiciones de laboratorio, una vez que exige el uso de cables sujetos al caballo además de unas condiciones de iluminación controladas. Clayton y Schamhardt (2001) indican algunos de los sistemas adecuados a la investigación con equinos: los sistemas MacReflex y ProReflex (Qualysis Inc., Glastonbury, CT), Optotrack y Watsmart (Northern Digital Inc., Waterloo, ON), Selspot Motion Measurement System (Innovision Systems, Warren, MI), Vicon (Oxford Metrics, Oxford, Inglaterra), y CODA (Charnwood Dynamics Ltd., Barrow-upon-Soar, Inglaterra).

El sistema CODA, utilizado en muchos estudios en la Universidad de Utrecht, ha sido modificado a partir del sistema CODA-3 (Schamhardt *et al.*, 1992). Utiliza marcadores activos que consisten en fotodiodos, y tiene muy buena resolución (0,2-2,6 mm) en 3 dimensiones, alta frecuencia de registro (300 Hz) y la posibilidad de rastreo automático de los marcadores activos (Van Weeren *et al.*, 1990).

La electrogoniometría es una técnica que permite medir alteraciones en los ángulos articulares, mediante la fijación de un electrogoniómetro sobre el centro de rotación de la articulación. Un electrogoniómetro consiste en un potenciómetro ligado a dos brazos metálicos rotativos (Clayton y Schamhardt, 2001). Las alteraciones del ángulo articular modifican la resistencia eléctrica del potenciómetro, que se calibra con un protractor para producir un desplazamiento proporcional de magnitud conocida. Se ha utilizado esta técnica con caballos para analizar el movimiento articular de caballos normales y cojos en los distintos aires (Adrian *et al.*, 1977), y para evaluar los cambios en el

movimiento articular tras tratamientos médicos ó quirúrgicos (Taylor *et al.*, 1966; Ratzlaff *et al.*, 1979). La técnica esta hoy en día en desuso, pues se cree que el peso y resistencia del electrogoniómetro alteran el movimiento normal, y presenta dificultades en la fijación con precisión del electrogoniómetro sobre las articulaciones, principalmente las proximales al carpo y al tarso (Cano, 1999a).

Los datos cinemáticos obtenidos con estos dispositivos consisten en variables temporales, lineales y angulares. Los datos temporales se calculan a partir del número de frames y de la frecuencia de muestreo; los datos lineales son computados a partir de las coordenadas de los marcadores combinadas con la información de calibración; finalmente, los datos angulares describen desplazamientos, velocidades y aceleraciones de segmentos del cuerpo y de articulaciones (Clayton y Schamhardt, 2001). En los estudios bidimensionales, los datos angulares se reportan, como se ha referido anteriormente, solamente a los desplazamientos sobre el plano sagital (flexión y extensión), mientras que en los estudios tridimensionales, la cuestión es un poco más compleja. Se han descrito dos abordajes: la primera se basa en la proyección de los ángulos articulares en tres planos mutuamente perpendiculares, conectados por el sistema global de coordenadas (Fredricson y Drevemo, 1972); este método reduce el análisis tridimensional a un análisis casi-bidimensional, y tiene la limitación de no ser fiable cuando el movimiento articular no ocurra paralelamente a uno de los tres planos. La segunda abordaje establece un sistema de coordenadas tridimensional para las articulaciones, que se basa en los ejes de los segmentos de los miembros, que son independientes del centro de rotación de las articulaciones; ese método permite el verdadero análisis de los tres tipos de movimiento articular: flexión/extensión, aducción/abducción y rotación interna/externa (Clayton y Schamhardt, 2001).

En la Universidad de Córdoba se ha empleado un sistema bidimensional de desarrollo propio (SMVD 2.0) que ha sido ampliamente utilizado en el Laboratorio de Locomoción Equina con gran éxito (Galisteo *et al.*, 2001b; Cano *et al.*, 2000; Galisteo *et al.*, 1997; entre otros trabajos).

2.3.2. ANÁLISIS BIOCINÉTICO

Otro tipo de métodos de análisis del movimiento son los que se dedican a medir las fuerzas externas aplicadas al cuerpo ó las aceleraciones del centro de gravedad de los segmentos del cuerpo (Barrey, 1997). Las fuerzas externas son las que se producen entre los cascos y el suelo, y se denominan fuerzas de reacción del suelo (GRF – ground reaction forces). Pueden estudiarse y cuantificarse para caracterizar el aire, ó bien para estimar las fuerzas y cargas internas en partes determinadas del aparato locomotor (Jansen *et al.*, 1993), y también en la investigación del diagnóstico de cojeras (Leach, 1983).

Las fuerzas de reacción del suelo durante la locomoción pueden medirse utilizando herraduras de fuerza (Frederick y Henderson, 1970; Ratzlaff *et al.*, 1990; Roepstorff y Drevemo, 1993) ó placas de fuerza (Pratt y O'Connor, 1976). Las *herraduras de fuerza* llevan acoplados uno ó más sensores de presión, y miden las fuerzas de reacción del suelo siempre que el caballo apoya el miembro. Tienen como ventajas el hecho de medir una cantidad de trancos continuos, y medir las fuerzas de todos los miembros al mismo tiempo, pero la dificultad técnica en elaborar un aparato con la precisión y fiabilidad necesarias ha restringido su utilización a los laboratorios que las han

desarrollado (Clayton y Schamhardt, 2001), y aportan información únicamente sobre el componente vertical de la fuerza.

Las *placas de fuerza* son placas metálicas que llevan acoplados transductores de cuarzo piezoeléctrico, y que se encajan en el suelo, estando revestidas por un material antideslizante (Clayton y Schamhardt, 2001). Tienen generalmente buena exactitud, pero la reducida área hace que sean necesarios repetidos intentos para lograr un apoyo del miembro en la parte central de la placa. Por otra parte, sólo se puede medir un miembro, lo que hace muy difícil detectar desplazamientos en el patrón de fuerzas entre miembros (Cano, 1999a). Es un método no invasivo con un valor apreciable en el diagnóstico de cojeras (Pratt y O'Connor, 1976), y puede utilizarse para medir la respuesta del caballo cojo a una anestesia diagnóstica (Keg *et al.*, 1992), ó a la intervención terapéutica (Gingerisch *et al.*, 1979).

Los *acelerómetros* son pequeños sensores que miden la aceleración de las superficies donde están ubicados (Barrey, 1999a; Clayton y Schamhardt, 2001). Cada acelerómetro emite una señal electrónica cuya magnitud es proporcional al cambio de velocidad en cada instante (Barrey, 1999c). Se han utilizado con frecuencia aplicados al casco, en trabajos sobre los fenómenos de aceleración y desaceleración del casco durante el movimiento, y sobre la influencia de las condiciones del terreno y del herrado en el impacto que sufre el casco (Barrey *et al.*, 1991; Benoit *et al.*, 1991). Pero los acelerómetros también se han utilizado para estudiar la locomoción normal del caballo, y las cojeras; para eso, deben de estar colocados lo más cerca posible del centro de gravedad del caballo. El punto que representa la mejor relación entre la estabilidad del transductor y la proximidad al centro de gravedad es la porción caudal del esternón, entre los músculos pectorales ascendentes derecho e izquierdo, al nivel de la cincha (Barrey *et al.*, 1994; Barrey y Galloux, 1997). La gran ventaja de este método es su simplicidad, que permite su utilización en condiciones de campo. El método fue desarrollado para su utilización en la práctica por el INRA (*Institut Nationale de Recherche Agrónomique*) con el nombre de Equimetrix®, para su aplicación en la selección precoz, evaluación del rendimiento deportivo y examen previo a la compra (Barrey, 2005).

2.4. LA LOCOMOCIÓN DEL CABALLO

El caballo (*Equus caballus*) es un mamífero cuadrúped, cuya anatomía y funcionalidad son el resultado de un largo proceso evolutivo de adaptación a los cambios climáticos, alimentarios y a la acción de los predadores. Es un animal dotado de especial versatilidad en el número y variedad de aires que ejecuta naturalmente (Clayton, 2005).

Un *aire* es un patrón característico de coordinación de los miembros, donde se reconocen la secuencia y el tiempo de sus movimientos (Clayton, 2005). Una definición un poco más compleja es la de Uspenskii (1953), que define el aire como un movimiento complejo, rítmico y estrictamente coordinado del cuerpo como un conjunto, integrado de actos reflejos que tienen lugar en concordancia con las condiciones ambientales, y que son capaces de producir movimientos progresivos de diferentes tipos inherentes a cada especie animal.

Cada aire se compone de unidades locomotoras que se repiten cíclicamente, y a las que denominamos trancos. Los aires se clasifican de acuerdo con la simetría de los

movimientos de los lados izquierdo y derecho del cuerpo, y también dependiendo de la existencia, o no, de fases de suspensión. Una fase de suspensión es un periodo dentro de un tranco donde ninguno de los miembros se encuentra tocando el suelo (Clayton, 2005). Se califican los tres aires naturales del caballo (el paso, el trote y el galope) teniendo en cuenta estos parámetros.

2.4.1. EL PASO

Se puede definir el paso como un aire simétrico natural de cuatro tiempos o batidas, sin fase de suspensión. Se suceden cuatro apoyos tripedales separados por cuatro apoyos bipedales, alternativamente ipsilaterales y diagonales (Galisteo *et al.*, 2001a). Idealmente, de acuerdo con Clayton (2005), las cuatro fases de apoyo y de vuelo de los miembros al paso deberían de tener la misma duración. Sin embargo, la misma autora concluyo, en un estudio realizado en caballos altamente entrenados en doma clásica, que apenas seis de los caballos observados cumplía ese ritmo regular (Clayton, 1995).

Es el aire más lento del caballo, con velocidades que varían desde los 1,4 m/s (paso reunido) a los 1,8 m/s (paso largo). Los cambios de velocidad ocurren casi sin aumentar la frecuencia de tranco, debiéndose principalmente al aumento de la longitud de tranco por el aumento de la longitud de sobre-huella (Miró, 1999a; Barrey, 2001). En el paso, el movimiento de la cabeza y cuello se encuentra íntimamente coordinado con el de los miembros. El alargamiento del cuello y los movimientos más acusados de elevación y descenso de la cabeza hacen que el caballo amplíe el tranco, pues el brazo de palanca muscular de la protracción es mayor, dando más juego a estos. Por el contrario, el acortamiento del cuello disminuye la amplitud de las pisadas y, consecuentemente, la velocidad (Miró, 1999a).

2.4.2. EL TROTE

El trote es un aire natural simétrico, con dos batidas separadas por periodos de suspensión, y donde los pares diagonales de miembros (miembro torácico de un lado y miembro pelviano del lado contrario) se alternan en las fases de apoyo de modo sincrónico. Sin embargo, el análisis del movimiento en cámara lenta ha permitido detectar que el apoyo en el suelo y la elevación del miembro anterior y posterior de cada par diagonal no ocurren exactamente en el mismo momento (Clayton, 1998). A esa diferencia llamamos colocación diagonal avanzada, positiva cuando el apoyo del miembro pelviano se adelanta al del miembro torácico, y negativa cuando ocurre el contrario (Holmström *et al.*, 1994; Clayton, 1997; Barrey, 2001).

La colocación diagonal avanzada positiva es una característica deseable en los caballos de doma clásica, pues ocurre en caballos que naturalmente se desplazan con el tercio anterior más libre y ligero (Clayton, 1998; Miró, 1999b). Según Hölmstrom (1996), una de las diferencias encontradas entre caballos suecos juzgados como buenos y malos ha sido la colocación avanzada diagonal positiva al trote. De hecho, ese autor verificó que en caballos bien calificados por los jueces, el apoyo del miembro pelviano ocurría alrededor de 30 a 40 milisegundos antes del apoyo del miembro torácico, y consideró la característica como un buen criterio de selección de caballos jóvenes, pues verificó que, aparentemente, no se altera con la edad ni con el crecimiento. Además, en caballos de Grande Premio, esta característica no cambia significativamente entre el trote guiado

por la mano, el trote de trabajo y el trote reunido, aunque aumente ligeramente en la *passage*, y disminuya (tornándose negativa) en el *piaffe*.

La velocidad del trote en doma clásica varía entre los 3,2 m/s (trote reunido) y los 4,9 m/s (trote largo). En el trote de carreras, la velocidad puede llegar a los 14,2 m/s (Barrey *et al.*, 1995). También en este aire los cambios de velocidad se deben a los cambios en la longitud del tranco (alargamiento de la distancia diagonal) y, principalmente, en la longitud de sobre-huella, que representa la distancia recorrida en la fase de suspensión (cuanto más larga la fase de suspensión, más larga la longitud de sobre-huella) (Clayton, 1998). En un trote natural, un gran tiempo de suspensión indica de forma indirecta la potencia que, sin gran esfuerzo, son capaces de ejercer los miembros pelvianos, deseable cualquiera que sea el destino de caballo (Miró, 1999a). La velocidad de 3 m/s es espontáneamente adoptada por los caballos al trote guiado por la mano (Deguerce *et al.*, 1997), y es utilizada con frecuencia para el examen clínico de cojeras (Clayton, 1986).

2.4.3. EL GALOPE

El galope difiere de los dos aires anteriores por el hecho de ser un aire asimétrico, o sea, en cada tranco la secuencia de movimientos de los miembros de un lado no se repite en los miembros del lado contrario. El caballo al galope alterna periodos en los que apoya en el suelo (con uno, dos o tres miembros simultáneamente) con fases de suspensión completa en el aire (Miró, 1999b). Existen dos variedades de galope: el galope de competición, utilizado en la doma clásica, por ejemplo (denominado *canter* en la literatura anglófona), y el galope de carreras (en inglés, *gallop*).

El galope de competición es un aire basculado y saltado, con tres tiempos ó batidas, seguidas de una fase de suspensión. La secuencia de apoyos es: miembro pelviano izquierdo (MPI)-diagonal derecha (MPD/MTI)-miembro torácico derecho (MTD) (en el galope para la mano derecha); y miembro pelviano derecho (MPD)-diagonal izquierda (MPI/MTD)-miembro torácico izquierdo (MTI) (en el galope para la mano izquierda). En la naturaleza, los caballos tienden a galopar para la mano izquierda o derecha según su trayectoria curva a la izquierda o a la derecha (Barrey, 2001).

El galope de carreras es un aire saltado y basculado a cuatro tiempos, generalmente con una secuencia transversal de apoyos seguida de una fase de suspensión (Clayton, 2005). Una secuencia transversal significa que la colocación de los miembros atraviesa el eje corporal, desplazándose de un lado para el otro del cuerpo. Así, en el galope para la mano izquierda, la secuencia de apoyos es MPD-MPI-MTD-MTI, mientras que en el galope para la mano derecha la secuencia es exactamente simétrica a la anterior. Puede también ocurrir una secuencia rotacional de los apoyos (en sentido horario ó anti-horario, dependiendo de la mano para la cual el caballo galopa). Estas secuencias ocurren generalmente cuando el caballo acelera para estabilizar un galope, durante los cambios de mano, ó cuando se empieza a manifestar fatiga durante una carrera (Barrey, 2001; Clayton, 2005).

El galope es el aire más rápido del caballo. La velocidad del galope en doma clásica puede variar entre los 3,27 m/s (galope corto) y los 5,97 m/s (galope largo), siendo que la longitud de tranco es responsable por los cambios de velocidad, mientras que la frecuencia de tranco se mantiene casi constante (Clayton, 1994a).

En los caballos purasangres de carreras, existen dos perfiles: los *stayer*, adaptados para correr distancias más largas (1900-2400 m), pueden alcanzar velocidades punta de alrededor de 16,6 m/s; mientras que los *sprinter* (carreras de 1200-1500 m) alcanzan velocidades punta de hasta 18,4 m/s (Barrey, 1999b). Para alcanzar estas velocidades, el caballo aumenta la longitud, pero también la frecuencia de tranco. En términos relativos, la duración del apoyo disminuye, mientras que la duración del tiempo de suspensión aumenta (Barrey, 1999b).

2.4.4. FACTORES QUE INFLUENCIAN LA LOCOMOCIÓN EQUINA

Aunque a continuación intentemos referirnos a cada uno de un conjunto de factores aisladamente, es importante tener en cuenta que estos factores están muchas veces fuertemente correlacionados, siendo difícil o casi imposible separar netamente las influencias de la raza y de la morfología, ó del entrenamiento y de la edad, por ejemplo.

2.4.4.1. Velocidad

Como se ha referido anteriormente, la velocidad es función de la longitud y de la frecuencia de tranco, y en velocidades inferiores a los 12 m/s, los cambios de velocidad se obtienen fundamentalmente por alteraciones en la longitud de tranco (Leach, 1987; Clayton, 2005). Para cada aire, existe una velocidad óptima, donde el coste metabólico (medido en términos de gasto de oxígeno) es mínimo, siendo que los caballos la eligen naturalmente (Hoyt y Taylor, 1981; Hornicke *et al.*, 1983).

Galisteo *et al.* (1998) observaron en caballos al trote guiado de la mano correlaciones positivas significativas entre la velocidad y los parámetros lineares (longitud de tranco y de sobre-huella). La velocidad también se ha correlacionado con los parámetros temporales, verificándose correlaciones significativas de valor negativo con la duración del ciclo del miembro, la duración del apoyo y el porcentaje que el apoyo representa en el tranco. Robert *et al.* (2000) también han observado que las duraciones del tranco y de la fase de apoyo disminuyeron linealmente con el aumento de la velocidad. En lo que respecta a los parámetros angulares, los autores refieren distintos resultados significativos, aunque de valores más moderados. Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos por Morales *et al.* (1998a), que también refieren la influencia de la velocidad sobre parámetros lineares y temporales, y con los de Robert *et al.* (2002), que refiere el mismo tipo de influencia sobre los parámetros temporales. Estos mismos autores y Hoyt *et al.* (2002) también han observado que un aumento de la velocidad conlleva a un aumento del rango de movimientos del miembro, con una mayor flexión de los miembros durante la fase de apoyo y un mayor acortamiento de los miembros en la fase de vuelo.

2.4.4.2. Morfología

La relación entre forma y función es una constante en el mundo físico. Así, no sorprende que en el caballo la morfología ó conformación condicionen incuestionablemente la locomoción. Esta influencia es todavía más importante porque se puede valorar en animales jóvenes, contribuyendo para la detección precoz de los caballos de elite. Al puntuar y medir los caracteres de conformación y resultados deportivos en caballos suecos de 4 años de edad, Holmström y Philipsson (1993) han concluido que existen correlaciones moderadas a elevadas entre la conformación

(incluidos el paso y el trote guiados por la mano) y los aires del caballo montado por un jinete. Además, concluyeron que la inclusión de determinadas medidas cuantitativas de la conformación (como la inclinación del fémur, de la pelvis y de la escápula, y las longitudes del húmero y del fémur) mejorarían la validez de los juzgados morfológicos tradicionales como medio de predicción del mérito deportivo.

En lo que respeta a las desviaciones de las líneas de aplomo, los defectos ligeros no son, aparentemente, demasiado importantes para el caballo. De acuerdo con Holmström (1996), eso se confirma verificando que la frecuencia de los defectos de aplomo es igual en caballos de 4 años de edad, caballos de doma clásica compitiendo al nivel Intermediario I, y caballos de Grand Prix. Si estos defectos de aplomo de baja magnitud tuvieran una influencia negativa sobre la capacidad atlética ó la salud del caballo, se esperaría una frecuencia más baja en caballos de nivel más alto. Aún así, no deben nunca confundirse estas ligeras desviaciones de desviaciones más importantes al nivel de uno ó más segmentos del miembro, que desequilibran el conjunto de fuerzas, conllevando a la aparición de lesiones. El mismo autor refiere que alrededor de 90% de los caballos de elite de 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 ejercicios como la cabeza al muro ó el ladear, una vez que esta conformación produce un espacio más amplio entre la babilla y el tronco del caballo.

Los caballos de elite de doma clásica tienden a tener cuellos relativamente cortos, lo que probablemente tiende a reducir el brazo de palanca de la cabeza y cuello, facilitando la reunión y ligereza de los aires (Clayton, 2001). Holmström (2001) sugiere que en caballos de doma clásica, más que la longitud del cuello, lo importante es la buena inserción de la cabeza en el cuello y del cuello en el tronco. Ya en caballos de salto, distintos autores refieren distintas características morfológicas importantes. Según (Clayton, 2001), la característica más consistente en la relación con la capacidad de salto ha sido la alzada a la cruz, mientras Holmström (2001) refiere resultados que apuntan para que los caballos de salto tengan el cuello significativamente más largo que los caballos de doma clásica ó los caballos comunes. Langlois *et al.* (1978) refieren que, además de altos, los caballos de saltos deben ser compactos, cercanos de tierra, y con buena amplitud al nivel de las espaldas y de las caderas.

En lo que respeta a la alzada a la cruz, los datos de distintas fuentes apuntan en distintas direcciones: algunos estudios revelan una buena correlación entre la alzada a la cruz y los resultados deportivos (Magnusson, 1985b) ó las puntuaciones obtenidas en concursos morfológicos (Holmström y Philipsson, 1993), mientras otros refieren una correlación entre la alzada y los problemas locomotores (Magnusson, 1985a). Galisteo *et al.* (1998) observaron correlaciones positivas significativas entre la alzada a la cruz y las longitudes de tranco y de sobrehuella. Estos autores refieren aún una influencia moderada de la alzada a la cruz sobre los parámetros angulares del trote, y ninguna influencia sobre los parámetros temporales. 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 miembros más largos representan brazos de palanca más largos. Otros factores que influyen en la longitud de 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).

En el miembro torácico, los estudios han demostrado que una escápula más horizontal induce el miembro a desarrollar su 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 (Bennet, 1992; Holmström *et al.*, 1990; Knopfhart, 1966; apud Back *et al.*, 1996). Los resultados de Holmström y Philipsson (1993) indican que los caballos de doma clásica de elite tienen las espaldas más horizontales 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. Además, es conocido el hecho de que la reunión en caballos de doma esta asociada a un alargamiento de la fase de apoyo del miembro torácico (Back *et al.*, 1994; Clayton, 1994b; Holmström *et al.*, 1995). De acuerdo con Back *et al.* (1996), los caballos con mayor inclinación de la escápula y menor ángulo del hombro, en conjunto con 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. Holmström y Philipsson (1993) observaron una correlación positiva significativa entre la buena calidad de los aires y la horizontalidad de la escápula. Sin embargo, Holmström (2001) refiere que, más que la inclinación de la escápula en si 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, lo que influye en la calidad del aire.

Otro de los aspectos importantes en el miembro torácico parece ser la longitud del húmero. De hecho, de acuerdo con Holmström y Philipsson (1993), este es el parámetro que presenta una correlación más elevada con la calidad de los aires en caballos jóvenes. Holmström (2001) refiere incluso que los caballos de elite de doma clásica tienen el húmero significativamente más largo que los caballos de saltos ó lo caballos comunes. 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, siendo que ambas articulaciones se flexionan significativamente más en 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 por otra parte una mayor altura del arco de vuelo del casco en los caballos con más calidad de movimientos. La misma autora refiere 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.*, 2001a).

En el miembro pelviano, distintos estudios apuntan para una correlación entre la buena calidad de los aires y algunas características de la morfología. Se considera que la pelvis deberá ser más inclinada (más cercana de la horizontal) en los caballos de doma clásica,

y más vertical en los caballos de salto (Clayton, 2001). Un fémur largo y bien inclinado hacia delante, con la resultante disminución del ángulo de la articulación de la cadera, son consideradas características deseables por Knopfhart (1966), Langlois *et al.* (1978) y Holmström (1996, 2001). El último autor atribuye particular importancia al fémur, defendiendo que un fémur largo y bien inclinado hacia delante coloca el miembro pelviano más cerca del centro de gravedad del caballo, contribuyendo para un mejor equilibrio y mejor soporte de peso. Refiere aún como deseable una gran abertura del ángulo de la babilla, pues un ángulo demasiado cerrado conduce a una constricción importante de los cuádriceps del muslo, que son probablemente los conjuntos musculares más sobrecargados en la reunión de los aires. 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 (1985b) encontró una correlación positiva entre el ángulo de la babilla y los resultados deportivos. Estas mismas características fueron también asociadas a mejor calidad de movimientos por Back *et al.* (1996), que detectaron 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.

Con respecto al corvejón, Holmström (2001) no observó diferencias significativas entre el rango de variación del ángulo articular en caballos de elite y caballos comunes (ambos variando entre los 155,5° y los 160°, aproximadamente), aunque sin embargo los caballos de doma clásica tienden a tener ángulos ligeramente más amplios (160° de media). Pero existe una diferencia significativa entre los caballos con problemas recurrentes de cojeras y los demás, verificándose ángulos menores en los primeros (Magnusson, 1985a y Stashak, 1987, apud Back *et al.* (1996); Holmström, 2001). Holmström (1996) afirmó no haber encontrado en caballos de elite de doma clásica el defecto de aplomo “quebrado de corvejones”, correspondiente, según De Souza y Miró (1999) con un exceso de flexión tarsiana. Los dos autores refieren que los caballos quebrados de corvejones tienen particulares dificultades en soportar la excesiva carga que se produce sobre las estructuras óseas y tendoligamentosas de la región, siendo por tanto más susceptibles a lesiones como desmitis, tenosinovitis, tendinitis y osteopatías de inserción, y, en casos de defectos en la alineación tarsometatarsiana, a enfermedad articular degenerativa (esparaván dorsal) y sinovitis (De Souza y Miró, 1999). Según Back *et al.* (1996), la mayor abertura del ángulo del tarso esta relacionada con amplitudes de tranco más largas, fases de vuelo más duraderas, y un mayor ángulo de retracción-protracción, lo que contribuye para 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 torácicos de caballos de elite de doma clásica y de saltos son más largas que las de los demás caballos, aunque no haya diferencias significativas en su inclinación (Holmström *et al.*, 1990, apud Holmström, 2001). De acuerdo con los resultados de Back *et al.* (1994), un ángulo de menudillo más abierto resulta en una mayor extensión máxima de la articulación, lo que se correlaciona con la calidad de los aires en el miembro anterior. Sin embargo, en el miembro pelviano el ángulo del menudillo se correlaciona con variables temporales, como la duración del tranco ó la duración de la fase de vuelo, ambas variables relacionadas con la buena calidad de los aires. Así, los autores concluyen que, aunque por razones funcionalmente distintas, un ángulo amplio del menudillo es deseable tanto en los miembros torácicos como en los pelvianos (Back *et al.*, 1996).

2.4.4.3. Raza

La influencia de la raza sobre la locomoción del caballo es indisociable de las características morfológicas que constituyen el patrón racial, así como de las características físicas y fisiológicas que cada raza posee, y que determinan sus aptitudes particulares. Los estudios comparativos entre razas son escasos, y, para que se puedan establecer comparaciones, los animales tienen de estar sujetos a las mismas condiciones experimentales. Galisteo *et al.* (1997) compararon los parámetros cinemáticos del miembro torácico de caballos de Pura Raza Española (PRE) y Sangre Caliente Holandés (KWPN), y observaron que la amplitud de tranco y longitud de sobre-huella de los caballos KWPN fueron significativamente superiores a las de los caballos PRE. También refieren diferencias significativas entre parámetros angulares, particularmente en las articulaciones del codo, del carpo y del menudillo (que los caballos PRE flexionaron más), y en los ángulos de retracción-protracción (los caballos KWPN exhibieron una retracción más pronunciada, mientras que los caballos PRE exhibieron una protracción más acentuada).

Barrey *et al.* (2002a) compararon la conformación, el paso y el trote de tres tipos de caballos: alemanes (Hanoverianos, Oldenburger y Westfalianos - HOW), Silla Franceses (SF) e Pura Raza Española, en un intento de evaluar sus aptitudes para la doma clásica. En las variables de la conformación, las principales diferencias se verificaron entre los caballos de PRE y los demás. Al paso, los caballos alemanes demostraron mayor aptitud para la doma clásica que los otros dos grupos, siendo que los caballos SF exhibieron propulsiones más débiles y una frecuencia de tranco superior, mientras que los caballos PRE exhibieron menor regularidad y menor desplazamiento y actividad dorso-ventral. Al trote, los caballos alemanes fueron también los que exhibieron las mejores características para la doma, mientras que los caballos franceses y españoles demostraron poseer algunas debilidades: mayor frecuencia de tranco, menor desplazamiento dorso-ventral y menor propulsión en el caso de los caballos SF, y menor amplitud de tranco, mayor frecuencia de tranco, menor desplazamiento y actividad dorso-ventral en el caso de los caballos PRE. Estos últimos exhibieron también menos regularidad, y movimientos con mayor elevación (flexión del carpo y del tarso) y menor extensión de los miembros, lo que está de acuerdo con los resultados de Galisteo *et al.* (1997).

2.4.4.4. Edad

Durante su crecimiento el caballo sufre una gran cantidad de cambios físicos que alteran parámetros tan distintos como la alzada a la cruz o la resistencia de sus estructuras tendo-ligamentosas. Se supone que estos cambios conllevan a diferencias entre los patrones locomotores de caballos jóvenes y adultos. Por ejemplo, los Pura-Sangre Ingleses de dos años de edad demostraron poseer tasas más elevadas de dorsi-flexión del menudillo que Pura-Sangres con más edad. Butcher y Ashley-Ross (2002) sugieren que esa diferencia podría estar relacionada con el grado de madurez de los tejidos del aparato suspensor del menudillo, siendo que esa inmadurez se correlacionaría con la elevada incidencia de lesiones que los caballos de dos años sufren al entrenarse.

Cano *et al.* (2001a) pudieron concluir que durante el crecimiento del caballo de Pura Raza Española se producen modificaciones en su patrón locomotor al trote, particularmente hasta los 24 meses de edad, con un incremento de la amplitud del tranco

y de la flexión de las articulaciones del hombro, codo, carpo, cadera y rodilla y una mayor extensión de las articulaciones del miembro pelviano en el apoyo. Sin embargo, destacó la ausencia de diferencias en el ángulo de retracción-protracción en ambos miembros desde los 12 hasta los 36 meses de edad. Resultados semejantes fueron obtenidos por Back *et al.* (1995a), comparando las variables angulares en potros a los 4 y a los 26 meses de edad. Estos autores detectaron incrementos de la rotación de la escápula y de las flexiones de las articulaciones del codo y del carpo en los animales a los 26 meses de edad. En el miembro pelviano no observaron diferencias significativas, y también se refiere la constancia del ángulo de retracción-protracción en ambos miembros. Sin embargo, Back *et al.* (1995a) detectaron un elevado valor de predicción de los parámetros locomotores en el adulto en los parámetros locomotores de los caballos jóvenes.

Cano *et al.* (2001a) han encontrado diferencias entre los parámetros angulares al trote de caballos jóvenes ($3,7 \pm 0,2$ años de edad) y adultos ($12,3 \pm 2,9$ años) de Pura Raza Española, siendo que los adultos demostraron un rango de movimiento articular mayor que los jóvenes en casi todas las articulaciones del miembro torácico, mientras que en el miembro pelviano los caballos adultos exhibieron un menor grado de extensión de las articulaciones de la cadera, babilla y, en menor grado, del corvejón, en la fase de apoyo. Aunque en este estudio no se hayan encontrado diferencias significativas en los parámetros lineares y temporales, otros autores refieren disminuciones significativas de la frecuencia de tranco, con aumento de la duración y amplitud del mismo, en caballos trotones (Leleu *et al.*, 2003; Drevemo *et al.*, 1980b). Sin embargo, Leleu *et al.* (2003) refieren una fuerte relación entre la edad y el nivel de entrenamiento, justificando el incremento de variables como la simetría y la coordinación a la interacción de estos dos factores.

2.4.4.5. Entrenamiento

El entrenamiento se puede definir como un programa de ejercicio diseñado con el objetivo de mejorar las capacidades físicas y resultados del caballo en una determinada tarea (Blood y Studdert, 1990, *apud* Cano *et al.*, 2000). La influencia del ejercicio empieza por hacerse notar en el desarrollo de la locomoción, verificándose que la coordinación entre los miembros que permite la buena eficiencia locomotora no se desarrolla adecuadamente en potros privados de ejercicio en los primeros meses de vida (Back *et al.*, 1996). Los programas de entrenamiento son relativamente específicos para las distintas tareas ó modalidades deportivas, y los efectos esperados de cada programa de entrenamiento deberán reflejar esa diversidad de objetivos. Clayton (1993) comparó las variables cinemáticas del galope en caballos pura-sangre ingleses entrenados para carreras y caballos de doma clásica de nivel avanzado. No observó diferencias significativas en la velocidad, duración y amplitud del tranco, pero sin embargo la duración de la fase de apoyo fue más corta, y la de la suspensión más larga, en los caballos de carreras que en los de doma clásica.

Existen varios estudios sobre los cambios locomotores sufridos en el período inicial de entrenamiento. Rogers *et al.* (2005) estudiaron los efectos cinemáticos del entrenamiento en yeguas pura-sangre inglesas de 2 años de edad, y verificaron un aumento de la longitud de tranco y de la velocidad media al trote guiado de la mano tras el entrenamiento. Los autores refieren también un aumento de la duración de tranco, un acortamiento de la fase de apoyo y un adelantamiento del instante de apoyo medio, y

relacionan estas alteraciones con el objetivo del entrenamiento, que es mejorar la capacidad del caballo de trabajar a velocidades más altas. Drevemo *et al.* (1980a) atribuyeron al entrenamiento los aumentos de amplitud de tranco, de duración del tranco y de duración de la fase de apoyo que observaron en caballos trotones analizados 2 veces con un intervalo de 3 años. Back *et al.* (1995b) evaluaron el trote de caballos de silla antes y después de 70 días de entrenamiento, y detectaron una reducción en la duración de la fase de apoyo del miembro pelviano (probablemente reflejo de una superior fuerza muscular, generando la impulsión necesaria en menos tiempo), menos flexión y un adelantamiento del instante de la protracción máxima. En los miembros torácicos, estos autores observaron una disminución del rango máximo de retracción. Los caballos no entrenados manifestaron un trote más relajado, con una mayor duración y una menor frecuencia del tranco. Estos datos están de acuerdo con los obtenidos por Serrano *et al.* (1996), en caballos de Pura Raza Española no entrenados y tras 8 meses de entrenamiento. Estos autores refieren que los caballos entrenados exhibieron una mayor duración del apoyo diagonal al paso, mayor frecuencia de tranco y menor duración de la fase de apoyo al trote, y defienden que esas alteraciones podrían ser el reflejo de una mejor capacidad física y mayor eficiencia de la propulsión en los caballos entrenados. Refieren también un aumento de las fibras musculares del músculo glúteo medio con mayor cantidad de proteínas contráctiles, tras el entrenamiento, lo que resultó en un aumento de la fuerza de contracción muscular. Cano *et al.* (2000) también han observado un aumento de la frecuencia de tranco en caballos españoles tras 10 meses de entrenamiento. Sin embargo, Biau y Barrey (2004) analizaron los primeros años del entrenamiento de caballos de doma clásica de cuatro años de edad, evaluando el trote por métodos acelerométricos, y refieren una disminución de la frecuencia de tranco al trote, particularmente después del segundo año de entrenamiento, estabilizándose ese parámetro a los seis años de edad. Refieren también un aumento del desplazamiento dorso-ventral de esternón en el primer año de entrenamiento.

Según Clayton (2001), en un periodo prolongado de entrenamiento para la doma clásica, los caballos desarrollan la capacidad para la reunión y la elevación del tren anterior. Así, en el trote se observa un aumento de la fuerza propulsora de los miembros pelvianos, mientras que en los miembros torácicos aumenta la fuerza de frenado, contribuyendo para los movimientos elevados. Esto ha sido comprobado por Cano *et al.* (2000), que refieren un incremento de la fase de frenada del miembro torácico, sin encontrar cambios en el porcentaje del tranco correspondiente al apoyo o en la duración total del tranco.

2.4.4.6. Jinete

El jinete altera el equilibrio del caballo, porque además de representar un peso adicional, ese peso se mueve de forma independiente. Así mismo, se la posición del centro de gravedad del jinete queda alineada en sentido vertical al centro de gravedad del caballo, este no tiene que alterar su patrón locomotor para adaptarse al nuevo equilibrio, alterándose solamente las fuerzas de reacción del suelo. Un jinete ideal se adapta a los cambios de dirección y velocidad manteniendo su centro de gravedad verticalmente al del caballo (Clayton, 2005).

La presencia de un jinete afecta tanto las variables cinemáticas como las variables dinámicas de la locomoción equina, siendo que esa influencia es más pronunciada en los miembros torácicos que en los miembros pelvianos del caballo (Schamhardt *et al.*,

1991; Clayton *et al.*, 1999). Existen estudios que pueden comprobar los efectos del jinete sobre variables dinámicas, desplazamiento dorso-ventral, regularidad y simetría del movimiento (Brassaud *et al.*, 2006), y en términos cinemáticos, el dorso del caballo aparentemente sufre cambios significativos con la presencia del jinete, con aumento de la extensión total del dorso y disminución de su movilidad (Fruehwirth *et al.*, 2004; De Cocq *et al.*, 2004). Los efectos del jinete no se deben únicamente al incremento de peso; Schamhardt *et al.* (1991) observaron diferencias entre caballos montados y caballos cargados con un objeto de peso idéntico al del jinete, siendo que el jinete desplaza parte de la carga hacia los miembros pelvianos del caballo. Clayton *et al.* (1999) refieren una mayor extensión de la articulación del menudillo en la fase de apoyo en los miembros torácicos de caballo montados, y además indican que el caballo montado no es, aparentemente, equivalente a un caballo con mayor peso corporal, en lo que respecta a las variables cinemáticas y dinámicas.

El nivel de equitación del jinete toma un papel fundamental en su influencia sobre la locomoción del caballo. Un estudio de Schills *et al.* (1993), *apud* Clayton (2001), investigó las posiciones a caballo de jinetes de distintos niveles, concluyendo que los jinetes expertos colocan el tronco muy cerca de la vertical, y orientan al muslo y a la pierna para que se queden en la misma línea vertical del tronco, además que adelantan más el antebrazo. Estos resultados están de acuerdo con los resultados de Lagarde *et al.* (1996), que observaron una sincronización de las articulaciones del hombro, codo y el pulso de un jinete experto, que no se observó en un jinete sin experiencia. Esta sincronización permitió al jinete experto acompañar correctamente los movimientos del caballo, mientras que el jinete sin experiencia no lo pudo hacer. Igualmente, el jinete experto demostró un menor desplazamiento en el dorso del caballo, obtenido por una mejor posición y un mayor relajamiento, al compararlo con un jinete sin experiencia. El jinete experto también utilizó el tobillo para amortiguar el efecto del movimiento vertical del caballo, mientras que el jinete sin experiencia exhibió una mayor rigidez en esa articulación. Esas diferencias repercutieron en el movimiento del caballo, observándose una mayor irregularidad debido al aumento de la variabilidad en la duración de la extensión de los miembros cuando el caballo era montado por el jinete sin experiencia. Los datos acelerométricos de Guezennec *et al.* (2006) están de acuerdo con que el nivel de doma clásica del jinete influye positivamente en la regularidad y, en menor grado, en la simetría de los trancos en los tres aires.

Peham *et al.* (2004) refieren incluso que, siendo verdad que un mal jinete aumenta la irregularidad del movimiento, lo contrario también es verdadero: un buen jinete tiende a estabilizar el patrón locomotor en la medida en que interfiere con otros factores extrínsecos de desestabilización. Eso se comprueba por la mejor adaptabilidad a la locomoción sobre cinta rodante (*treadmill*) de los caballos montados que observaron estos autores. Peham *et al.* (2001) definieron la armonía del trabajo del jinete en términos de la desviación media de los vectores de la velocidad y aceleración angulares, derivados de los ángulos establecidos por un conjunto de marcadores colocados en el caballo y en el jinete, y concluyeron que esas desviaciones medias son significativamente más bajas en jinetes profesionales que en jinetes de recreo, y que la armonía así cuantificada se correlaciona positivamente con las clasificaciones en pruebas de doma clásica.

2.4.4.7. Características de la pista

La primera cinta rodante de alta velocidad utilizada en el análisis de la locomoción equina se desarrolló en los años setenta (Fredricson *et al.*, 1983). Las cintas rodantes son actualmente un instrumento de uso común en los estudios sobre locomoción equina, aunque conllevan cambios apreciables a la locomoción normal. Según Dalin y Jeffcot (1994), incluso cuando se utilizan cintas rodantes específicamente concebidas para estudios de locomoción, siempre hay diferencias en las características locomotoras, frente a la locomoción sobre terreno común, y existe la necesidad de ponderar esas diferencias (Fredricson *et al.*, 1983; Leach y Drevemo, 1991; Barrey *et al.*, 1993a). Hay diferentes trabajos que refieren las diferencias entre los parámetros locomotores de caballos trabajando en la cinta rodante (*treadmill*) y en pistas reales. Comparando caballos moviéndose a distintas velocidades (de 1,6 m/s a 10 m/s), Barrey *et al.* (1993a) observaron amplitudes de tranco significativamente superiores en la cinta rodante. En otro estudio, la frecuencia de tranco fue significativamente más baja en el *treadmill* que en la pista, aunque la amplitud de tranco no sufrió diferencias significativas (Barrey *et al.*, 1993b). Buchner *et al.* (1994) compararon los parámetros cinemáticos de caballos al trote sobre cinta rodante y dos pistas distintas, observando un aumento de la duración de la fase de apoyo, un ángulo de retracción más amplio y una disminución de los movimientos verticales del tronco y de los cascotes en la cinta rodante. También observaron una colocación diagonal avanzada positiva en la pista, que se reveló negativa en la cinta rodante, apuntando como posible causa para estas diferencias la disminución de 9% de la velocidad en la cinta rodante durante la fase de apoyo. Couroucé *et al.* (2004) refieren que los caballos en la cinta rodante exhibieron una disminución de la frecuencia de tranco, un aumento de la amplitud de tranco y de la regularidad de los aires, relativamente a la pista.

Por otro lado, el equilibrio de fuerzas en la locomoción cambia con la inclinación. Dutto *et al.* (2004) compararon las fuerzas de reacción del suelo en caballos al trote en cinta rodante, horizontal y inclinada al 10%, y concluyeron que en la cinta horizontal la distribución total de fuerzas fue de 57% en los miembros torácicos y de 43% en los pelvianos, mientras que en la cinta inclinada hubo una redistribución, resultando en 52% del total de fuerzas en los miembros torácicos y 48% en los pelvianos. En algunos trabajos, el efecto de la inclinación no pareció afectar a los parámetros cinemáticos (Barrey *et al.*, 1993a; Robert *et al.*, 2000), aunque otros refieren un aumento de la duración del tranco, y de la duración de la fase de apoyo, particularmente en los miembros pelvianos (Sloet van Oldruitenborgh-Ooeste *et al.*, 1997), o un aumento del rango del movimiento de los miembros pelvianos, debido al aumento de la retracción, resultando en una mayor extensión de la articulación de la cadera (Hoyt *et al.*, 2002). Kai *et al.* (1997) refieren que a medida que aumenta la inclinación, la amplitud de tranco se mantiene sacrificando la duración de la fase de vuelo de los miembros.

Las condiciones físicas y la composición de la pista tienen también un efecto apreciable sobre la locomoción del caballo. Los resultados de Buchner *et al.* (1994) apuntan para una disminución de la duración del tranco y del desplazamiento vertical del tronco en caballos al trote sobre una pista de asfalto, en relación al trote sobre pista de goma. Spence *et al.* (2007) refieren una frecuencia de tranco más baja y un aumento de la duración del apoyo en caballos moviéndose sobre substratos deformables. Riemersma *et al.* (1996a) observaron que las tensiones sufridas por el ligamento accesorio del músculo flexor digital profundo y por el ligamento suspensor del menudillo fueron

significativamente más elevadas en una pista de asfalto que en una pista de arena, aunque las tensiones sufridas por los tendones flexores no fueron significativamente diferentes. Sin embargo, Crevier-Denoix *et al.* (2006) refieren que la duración de la sobrecarga de los tendones en la fase de apoyo fue más alta, y la velocidad de sobrecarga más baja, en caballos al trote sobre arena que sobre asfalto, aunque tampoco encontraron diferencias entre los picos de carga en los tendones entre los dos tipos de terreno. Según McGuigan y Wilson (2003), la sobrecarga del miembro y el ángulo del menudillo aumentan más lentamente en la superficie blanda que en la superficie dura, por el efecto de reducción de la tensión en las estructuras elásticas del miembro producido por la superficie blanda. Sin embargo, y como la arena sufre una deformación plástica, y no elástica, ese efecto no se observa en el levantamiento del miembro. Este incremento gradual de la carga (efecto amortiguador) resulta en un aumento de la duración del apoyo, lo que, según estos autores, explica la razón porque los caballos galopan más lentamente sobre la arena.

3. GENÉTICA DE LA MORFOLOGÍA Y DE LA LOCOMOCIÓN DEL CABALLO

Desde los inicios de la domesticación, los animales han sido seleccionados por los seres humanos con el objetivo de mejor servir a sus finalidades. Ese proceso ha provocado profundas alteraciones morfológicas y fisiológicas en las especies domesticas. La base de la mejora genética es la similitud que existe entre individuos emparentados (Gama, 2002), o sea, la selección se basa en la utilización de la consanguinidad para obtener la fijación de determinadas características en una población.

Según Arnason y Van Vleck (2000), la aplicación con éxito de los conocimientos modernos sobre la mejora animal necesita que los objetivos de cría estén bien definidos por los ganaderos, que los efectivos reproductores sean relativamente grandes y, no menos importante, que los ganaderos estén dispuestos a aceptar y colaborar con la aplicación de la metodología científica aplicada a un esquema de mejora. Estos autores refieren que la cría de caballos tiene algunas características que la distinguen de otras creaciones ganaderas, y que resultan en ventajas y desventajas, con respecto a la mejora genética:

Existen registros genealógicos muy completos que cubren frecuentemente un elevado número de generaciones;

- Varias características importantes tienen registro tanto en machos como en hembras, conociéndose su expresión en un porcentaje importante de la población;
- Las tasas reproductivas son bajas;
- El intervalo generacional es largo;
- Los apareamientos no son, generalmente, aleatorios;
- El valor económico de un individuo varía mucho, dependiendo de lo que se supone ser su mérito genético.

Estos factores son los que han determinado la utilización temprana y generalizada del Modelo Animal en la obtención de los mejores valores de predicción lineales no

sesgados (ó *Best Linear Unbiased Predictors*, BLUP) para la valoración genética de caballos en distintas poblaciones europeas.

La estimación fiable de los parámetros genéticos (heredabilidad y correlaciones) es esencial a la planificación y ejecución de cualquier esquema de selección. La heredabilidad corresponde a la proporción de las diferencias entre los animales de una población que se transmite a sus descendientes, o en otras palabras, la proporción de la varianza fenotípica que es de naturaleza genética aditiva. Expone el grado de transmisibilidad de un carácter. La existencia de valores fiables de la heredabilidad es necesaria en la estimación del mérito genético de los animales ó a la hora de planificar diferentes estrategias de mejora. Por lo que respecta a las correlaciones (genéticas y fenotípicas), estas miden el grado de asociación entre los distintos caracteres. La estimación de la correlación fenotípica nos indica si existe asociación entre los fenotipos para dos caracteres determinados, mientras que la estimación de la correlación genética valora si un valor genético elevado para un carácter se encuentra asociado a un valor genético elevado para el otro carácter. El valor estimado de las correlaciones genéticas y fenotípicas es fundamental para la construcción de índices de selección o la predicción de respuestas correlacionadas a la selección (Gama, 2002).

El aumento de la consanguinidad es un efecto necesario de cualquier esquema de selección. La depresión consanguínea, o conjunto de efectos negativos que ocurre en poblaciones con índices elevados de consanguinidad, ha sido ampliamente estudiada en lo que respecta a caracteres como la fecundidad o la tasa de supervivencia, aunque pocas son las referencias a los efectos de la consanguinidad sobre caracteres menos relacionados con la robustez, como los caracteres morfométricos o biocinemáticos (Curik *et al.*, 2003). Falconer y MacKay (1996) defienden que los caracteres más relacionados con la robustez sufren una reducción en consecuencia del aumento de la consanguinidad, mientras que en otro tipo de caracteres no se observan diferencias significativas. Sin embargo, hay un reducido número de estudios que presenta efectos negativos de la consanguinidad en variables morfológicas (Gandini *et al.*, 1992; Wiener *et al.*, 1992; Smith *et al.*, 1998). Los efectos de la consanguinidad son importantes en razas con un censo relativamente reducido, como puede ser el caballo Lusitano.

3.1. EVALUACIÓN GENÉTICA DE LA APTITUD DEPORTIVA

Koenen *et al.* (2004) realizaron un estudio sobre los objetivos de cría en caballos de deporte en Europa. Sus resultados han demostrado que en las 18 asociaciones de ganaderos que identificaron sus objetivos de cría, la conformación ha sido nombrada por 17, la aptitud para el salto por 16, la aptitud para la doma clásica por 14, y los aires por 14. Sin embargo, la aptitud deportiva es el principal factor de valorización económica del caballo en la actualidad, pero la importancia de la inclusión de la conformación y de los aires en los objetivos de cría, comparada con la selección directa por los resultados deportivos, depende no solamente de las correlaciones genéticas entre la conformación y los aires y los resultados deportivos, sino también de la edad en que los animales son valorados.

Las heredabilidades medias para los resultados deportivos, en particular los resultados en competiciones de doma clásica, tienden a ser relativamente bajos, según los estudios publicados por varios autores (Tavernier, 1992b; Janssens *et al.*, 1997; Lühns-Behnke *et*

al., 2002). Según Barrey y Biau (2002), esto se debe a la elevada influencia de efectos ambientales, como el entrenamiento.

Sin embargo, los valores estimados para las correlaciones genéticas entre pruebas de valoración locomotora de caballos jóvenes y los resultados deportivos, de acuerdo con estudios hechos en diferentes razas, son generalmente moderados a elevados, situándose entre los 0,20 y los 0,90 (Thorén Hellsten *et al.*, 2006). En la tabla 1.2. se presentan las correlaciones genéticas entre las clasificaciones para los distintos aires y los resultados en competiciones de doma clásica. Aunque no hay una tendencia constante entre los distintos autores consultados, verificamos que los valores de correlación presentados para el trote son en general moderados a fuertes.

Tabla 1.2: Correlaciones genéticas entre las valoraciones de los aires del caballo y los resultados en competiciones de doma clásica, según distintos autores.

Referencia	Raza	Paso	Trote	Galope
Ducro <i>et al.</i> , 2007a	KWPN	0,72	0,58	0,37
Wallin <i>et al.</i> , 2003	Swedish Warmblood	0,49	0,73	0,73
Gelinder <i>et al.</i> , 2001	Swedish Warmblood	0,20	0,57	0,26
Huizinga <i>et al.</i> , 1990	KWPN	0,05	0,27	0,36

Los valores estimados para la heredabilidad de las clasificaciones de los aires referidos en las referencias consultadas son moderados a elevados (tabla 1.3), siendo que, en un análisis general, el trote parece obtener valores más elevados.

Tabla 1.3.: Heredabilidad de las valoraciones de los aires del caballo (y error estándar, cuando descrito), según distintos autores.

Referencia	Raza	Paso	Trote	Galope
Ducro <i>et al.</i> , 2007a	KWPN	0,35	0,50	0,25
Zetteler, 2004	KWPN	0,28	0,37	0,27
Wallin <i>et al.</i> , 2003	Swedish Warmblood	0,27 (0,04)	0,23 (0,04)	0,17 (0,04)
Gerber-Olsson <i>et al.</i> , 2000	Swedish Warmblood	0,46 (0,13)	0,37 (0,11)	0,39 (0,11)
Zeiler <i>et al.</i> 1999	Haflinger, machos	0,57 (0,17)	0,51 (0,17)	0,37 (0,14)
Zeiler <i>et al.</i> 1999	Haflinger, hembras	0,19 (0,06)	0,23 (0,07)	0,34 (0,08)

El trote es también el aire que presenta valores de correlación genética más elevados con las valoraciones de los demás aires, como se observa en la tabla 1.4.

Tabla 1.4: Correlaciones genéticas (y error-padrón, cuando descrito) entre las valoraciones de los aires del caballo, según distintos autores.

Referencia	Raza	Paso-Trote	Paso-Galope	Trote-Galope
Ducro <i>et al.</i> , 2007a	KWPN	0,86	0,70	0,75
Zetteler, 2004	KWPN	0,88	0,53	0,77
Gerber-Olsson <i>et al.</i> , 2000	Swedish Warmblood	0,40 (0,08)	0,30 (0,06)	0,71 (0,16)

Por otro lado, la evaluación del valor genético de un caballo basada en sus propios resultados necesita una carrera de competición suficientemente larga, lo que implica, por ejemplo, que el conocimiento de la aptitud deportiva de las yeguas reproductoras sea generalmente escaso, y que se favorezca la utilización tardía de los sementales en competición. Estos límites sugieren la búsqueda de criterios indirectos de selección, que

puedan ser medidos precozmente, y que fortalezcan una primera estimación del valor genético de los animales sin que sea necesario que tengan ya una cantidad importante de resultados de competición (Barrey, 1992).

Así, la inclusión en los criterios de selección de las características morfológicas y locomotoras se encuentra justificada por su heredabilidad y correlaciones genéticas con caracteres indicadores del mérito deportivo, por su utilidad en la selección precoz de reproductores (que conlleva importantes beneficios desde el punto de vista económico), y finalmente por su asociación con otros factores importantes, como la salud y la longevidad de la vida deportiva (Wallin *et al.*, 2001).

3.2. EVALUACIÓN GENÉTICA DE MEDIDAS MORFOMÉTRICAS

La conformación física del caballo es el resultado de la evolución natural y las demandas del medio han conducido gradualmente al desarrollo de propiedades locomotoras características. El hombre ha criado caballos con el fin de obtener diferente fuerza, velocidad o belleza en función de sus necesidades, lo que ha producido la considerable divergencia entre las razas equinas. Se ha demostrado que la conformación tiene gran influencia en la cinemática equina (Holmström y Philipsson, 1993; Back *et al.*, 1996).

La morfología es un objetivo de selección verdadero y propio, ya que se encuentra correlacionada con la mecánica del movimiento y el rendimiento de los animales (Koenen *et al.*, 1995). En la selección de animales para la cría, la conformación es apreciada como un indicativo del rendimiento y firmeza (Holmström *et al.*, 1990). Los objetivos de cría incluyen la conformación funcional y los movimientos (paso y trote) como un objetivo para mejorar los parámetros relacionados con el rendimiento deportivo. Esto significa que la información relativa a la conformación es utilizada para la selección indirecta de parámetros de rendimiento (Koenen *et al.*, 2004). Sin embargo, para modalidades como la doma clásica, donde la exigencia del entrenamiento sobrecarga las articulaciones, la buena conformación de los miembros deberá ser controlada, a fin de prolongar la salud, y así la carrera deportiva del caballo (Holmström, 2001). Las estimaciones de heredabilidad de medidas morfométricas en caballos presentan valores muy variables, aunque suelen distribuirse entre valores moderados y altos (Barrey, 1992; Saastamoinen y Barrey, 2000). En la tabla 1.5 se presentan algunos valores de heredabilidad presentes en la literatura, y estimados en diferentes razas de caballos.

Tabla 1.5: Estimación de heredabilidad de algunas medidas morfométricas en distintas razas.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
ALCR	0,59	0,59		0,52	0,27	0,78	0,73	0,60	0,48	0,25	0,25	0,61	0,24	0,71	0,52
ALGR				0,15		0,77						0,52		0,68	0,20
LCRP	0,72			0,20		0,64						0,72		0,58	
LCUE			0,24	0,05								0,38		0,49	0,54
LESP			0,15	0								0,69		0,54	
LABR				0,04											
LBRZ				0,51											
LCNA				0											
LCUA				0,26											
LPEL			0,23									0,68		0,49	0,25
LMUS				0,19											
LCNP				0,09											
LCUP				0,55											
IESP			0,09	0											
IGRP			0,09	0,16											
PTOR	0,48	0,44		0,26	0,25		0,27	0,55	0,31	0,30	0,24	0,83	0,39	0,40	
PCNA	0,35	0,33		0,52	0,18	0,65	0,53	0,39	0,51	0,34	0,55	0,53	0,44	0,13	

Medidas: ALCR - Alzada a la cruz; ALGR - Alzada a la grupa; LCRP - Longitud del cuerpo; LCUE - Longitud del cuello; LESP - Longitud de la espalda; LABR - Longitud del antebrazo; LBR - Longitud del brazo; LCNA - Longitud de la caña anterior; LCUA - Longitud de la cuartilla anterior; LPEL - Longitud de la grupa/pelvis; LMUS - Longitud del muslo; LCNP - Longitud de la caña posterior; LCUP - Longitud de la cuartilla posterior; IESP - Inclinación de la espalda; IGRP - Inclinación de la grupa; PTOR - Perímetro torácico; PCNA - Perímetro de la caña. Referencias (y razas): (1) Molina *et al.*, 1999 (Pura Raza Española); (2) Arias, 1997 (Pura Raza Española); (3) Samoré *et al.*, 1997 (Haflinger); (4) Zechner *et al.*, 2001 (Lipizzaner); (5) Baban *et al.*, 1998 (Lipizzaner); (6) Saastamoinen *et al.*, 1998 (Finnhorse trotter); (7) Klemetsdal *et al.*, 1986 (Norwegian trotter); (8) Arnason, 1994 (Iceland Toelter horse); (9) (Árabe); (10) Kaiser *et al.*, 1991 (Trakehner); (11) Von Butler, 1986 (Bavarian Warmblood); (12) Miserani *et al.*, 2002 (Pantaneiro); (13) Dario *et al.*, 2006 (Murguese); (14) Santos, 2006 (Campolina); (15) Costa *et al.*, 1999 (Poni Brasileiro).

Las correlaciones genéticas entre medidas corporales suelen ser generalmente muy fuertes, lo que significa que es posible minimizar el número de medidas a tomar al calificar los caballos, incluyendo solamente aquellas que influyan más en su funcionalidad (Saastamoinen y Barrey, 2000). En la tabla 1.6 se presentan algunas correlaciones genéticas entre medidas corporales referidas en la bibliografía consultada.

Tabla 1.6: Correlaciones genéticas entre algunas medidas morfométricas.

Carácter Correlaciones genéticas	Raza	Referencia bibliográfica
Alzada a la cruz x Perímetro torácico 0,38 0,30 – 0,60 0,84 0,60 0,69	Trakehner Silla cruzado Finnhorse trotter Pura Raza Española Campolina	Kaiser <i>et al.</i> , 1991 Kapron <i>et al.</i> , 1994 Saastamoinen <i>et al.</i> , 1998 Molina <i>et al.</i> , 1999 Santos, 2006
Alzada a la cruz x Perímetro de la caña 0,52 0,54 0,46 – 0,68 0,76 0,48	Bavarian Warmblood Trakehner Silla cruzado Finnhorse trotter Pura Raza Española	Von Butler, 1986 Kaiser <i>et al.</i> , 1991 Kapron <i>et al.</i> , 1994 Saastamoinen <i>et al.</i> , 1998 Molina <i>et al.</i> , 1999
Alzada a la cruz x Alzada a la grupa 0,99 0,98	Poni Brasileiro Campolina	Costa <i>et al.</i> , 1999 Santos, 2006
Perímetro torácico x Perímetro de la caña 0,56 0,77 0,34	Bavarian Warmblood Finnhorse trotter Pura Raza Española	Von Butler, 1986 Saastamoinen <i>et al.</i> , 1998 Molina <i>et al.</i> , 1999
Alzada a la cruz x Longitud del cuerpo 0,72 0,94 0,90	Pura Raza Española Poni Brasileiro Campolina	Molina <i>et al.</i> , 1999 Costa <i>et al.</i> , 1999 Santos, 2006
Perímetro torácico x Longitud del cuerpo 0,77 0,66	Pura Raza Española Campolina	Molina <i>et al.</i> , 1999 Santos, 2006
Longitud de la espalda x Inclinación de la espalda 0,85 0,97	KWPN Haflinger	Koenen <i>et al.</i> , 1995 Samoré <i>et al.</i> , 1997

3.3. EVALUACIÓN GENÉTICA DE LA LOCOMOCIÓN

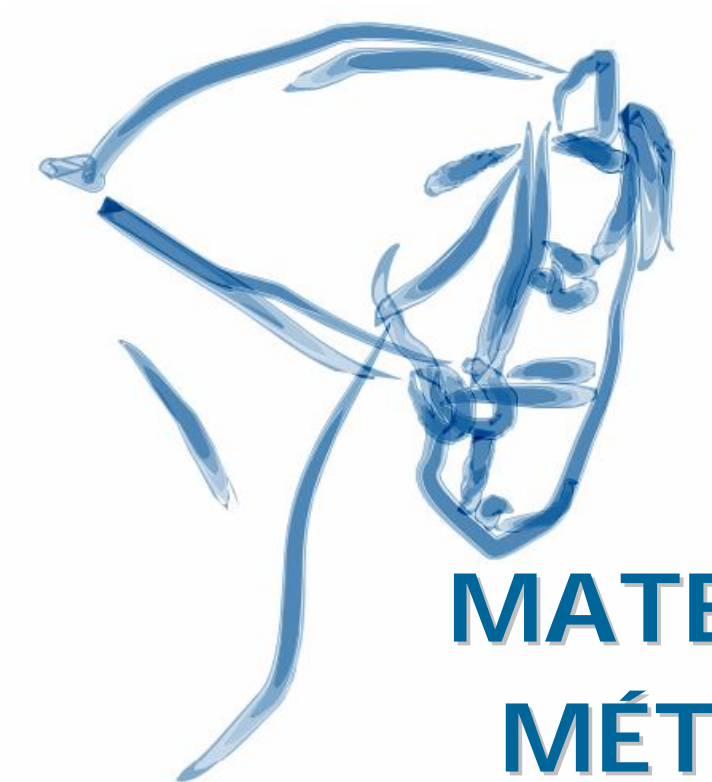
Según Barrey (1992), en cada disciplina ecuestre el caballo adopta una locomoción específica, cuyas características determinan directamente el nivel de rendimiento deportivo posible para ese caballo. Así, el análisis de la locomoción permitirá explicar una parte importante del rendimiento deportivo. El mismo autor refiere también la relación observable entre algunas características de la locomoción y las características morfométricas del caballo, como el hecho de que caballos con más peso y mayor alzada a la cruz presenten, para velocidades comparables, una frecuencia de tranco inferior, correspondiendo a una amplitud de tranco superior.

Existen pocos estudios publicados sobre la estimación de parámetros genéticos de variables biomecánicas. Se destacan los de Molina *et al.* (2008) y Valera *et al.* (2007) dedicados al estudio de los parámetros genéticos de las variables biocinémáticas al paso y al trote, respectivamente, en caballos de Pura Raza Española en condiciones experimentales (sobre tapiz rodante), y los de Barrey *et al.* (2002b), sobre la heredabilidad de variables biocinéticas, tomadas en estudios acelerométricos. En estos estudios, los valores de heredabilidad de las características biocinémáticas y biocinéticas son moderados a elevados (0,33-0,88 y 0,20-0,44, respectivamente). Sin embargo, los escasos estudios anteriormente publicados han estimado valores de

heredabilidad que oscilan entre los 0,10 (Meinardus *et al.*, 1986) y los 0,50 (Ducro *et al.*, 2007b).

De acuerdo con Barrey *et al.* (2002b), las características del paso son menos heredables que las del trote, pues el paso es un aire complejo, fuertemente influenciado por distintos factores ambientales. Los autores refieren que, siendo las heredabilidades de las características del trote moderadas a elevadas, se revisten de particular importancia para la aptitud para la doma clásica, y que se deben utilizar en la selección precoz de individuos (a los 2-3 años de edad). Tras este estudio, los autores recomiendan que se deban buscar caballos con baja frecuencia de tranco, elevada actividad dorso-ventral y longitudinal.

Para que esta selección basada en las características locomotoras de los caballos jóvenes sea realmente eficaz, tendrá que verificarse algún tipo de correspondencia entre las características que el animal presenta cuando joven y las que presenta al llegar al estado adulto, algo como una “huella locomotora”, o sea, un perfil cinemático característico que no se altere significativamente con el crecimiento y la edad (Clayton, 2005). Back *et al.* (1995a) refieren una buena correlación entre parámetros biocinemáticos indicadores de la calidad del trote (como la duración del vuelo, el ángulo máximo de retracción-protracción y la máxima flexión del tarso) en potros de 4 meses y en los mismos potros a los 26 meses de edad. Sin embargo, Cano *et al.* (1999) detectaron un aumento en el grado de flexión en los miembros torácicos y una disminución en la extensión máxima durante el apoyo de los miembros pelvianos entre los 3,5 y los 12 años de edad en caballos de Pura Raza Española. Parece ser que, en caballos Pura Raza Española (y probablemente, dada su similitud, en caballos Lusitanos) habrá que ser cauto en la predicción de características locomotoras en caballos jóvenes.



MATERIAL Y MÉTODOS

1. MATERIAL ANIMAL

Para la realización de este estudio, se han tomado datos referentes a 88 caballos de raza Puro Sangre Lusitano, machos, inscriptos en el Stud-book de la raza.

Los animales procedían de 53 ganaderías distintas, siendo su distribución por explotación la que se presenta en la tabla 2.1. El elevado número de ganaderías se debe, por un lado, al deseo de realizar un muestreo lo más amplio posible dentro de la raza, y, por otro, al reducido número de animales con las características pretendidas que se encontró en cada uno de los locales donde se filmaron los animales.

Tabla 2.1: Número de animales grabados por ganadería.

Nº de animales por ganadería	Número de ganaderías	Nº de animales por ganadería	Número de ganaderías
1 animal	36	4 animales	3
2 animales	7	5 animales	1
3 animales	5	6 animales	1

Se optó por visitar explotaciones con un número mínimo de 5 caballos machos con edad comprendida entre los 4 y los 13 años de edad, y picaderos donde se trabajan caballos Lusitanos de distintos orígenes, en un total de 12 locales (figura 2.1). De entre los caballos grabados, algunos se destinaban a la doma clásica, la equitación de trabajo o el rejoneo, otros se utilizaban como reproductores y otros, por su juventud, todavía no tenían un entrenamiento especial.

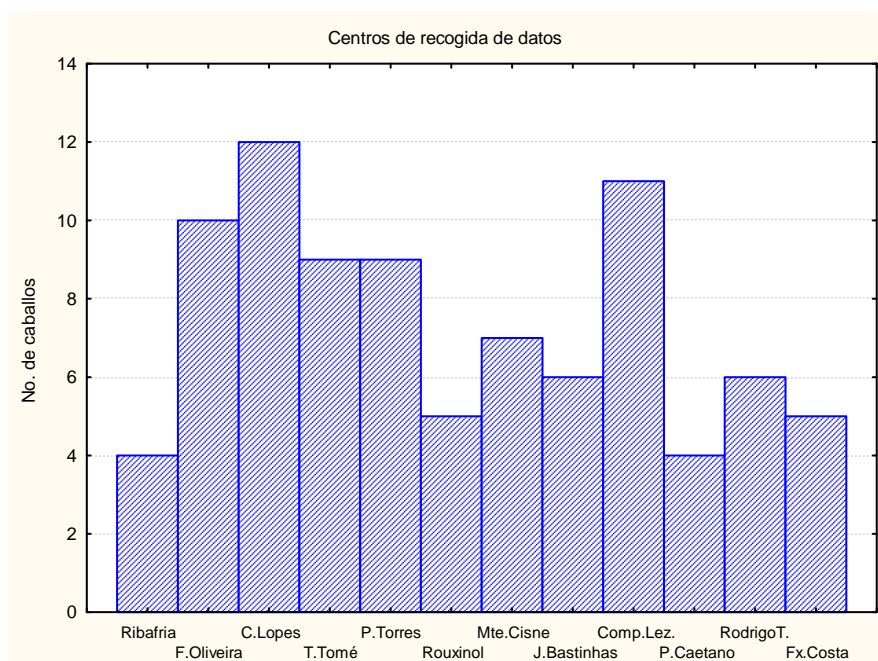


Figura 2.1. Histograma de frecuencias del número de caballos grabados en cada centro de entrenamiento

El número de animales pertenecientes a la muestra, en función de su edad se muestra en la figura 2.2. Más de la mitad de los animales (49) tiene menos de 7 años de edad. La edad media fue de $7,14 \pm 2,73$ años.

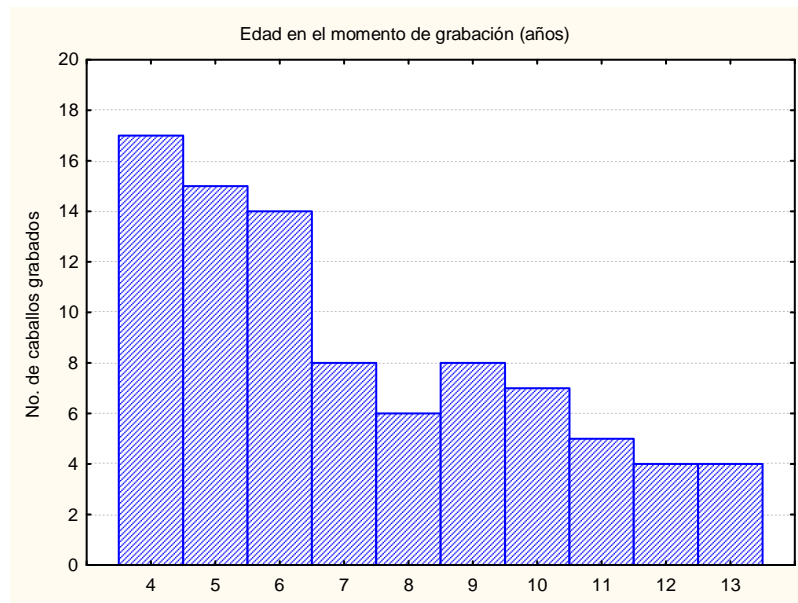


Figura 2.2: Histograma de frecuencias del número de caballos grabados, en función de su edad.

2. METODOLOGÍA

2.1. OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES

2.1.1. COLOCACIÓN DE LOS MARCADORES

A los animales, después de limpiarlos, se les aplicaron marcadores hemisféricos de 3 cm. de diámetro, cubiertos con pintura retro-reflexiva amarilla en 16 referencias anatómicas fácilmente identificables, en el lado derecho del animal, según el esquema representado en la figura 2.3.

Para fijar dichos marcadores al animal, se pegó en la cara plana un pequeño cuadrado de Velcro® adhesivo, colocándose la porción contraria sobre la referencia anatómica palpable. Este procedimiento permite la aplicación de marcadores sin provocar incomodidad al animal, y la fácil reubicación de los marcadores en caso de caída durante la realización del ejercicio.

La utilización de marcadores hemisféricos produce una mejor captación de la imagen por las cámaras colocadas oblicuamente. Cuando se verificaba poco contraste entre el marcador y la capa del caballo (Ej. capas tordas), se recubría la piel con cinta adhesiva negra antes de colocar el marcador.

Para intentar disminuir la variabilidad introducida por la colocación de marcadores anatómicos por distintos individuos, referida por Weller *et al.* (2006) (que han obtenido diferencias absolutas medias de $2,13 \pm 2,60$ cm. en las dimensiones de segmentos, y de $2,96 \pm 1,57^\circ$ en las medidas angulares), la misma persona colocó los marcadores sobre las referencias anatómicas de todos los caballos analizados.

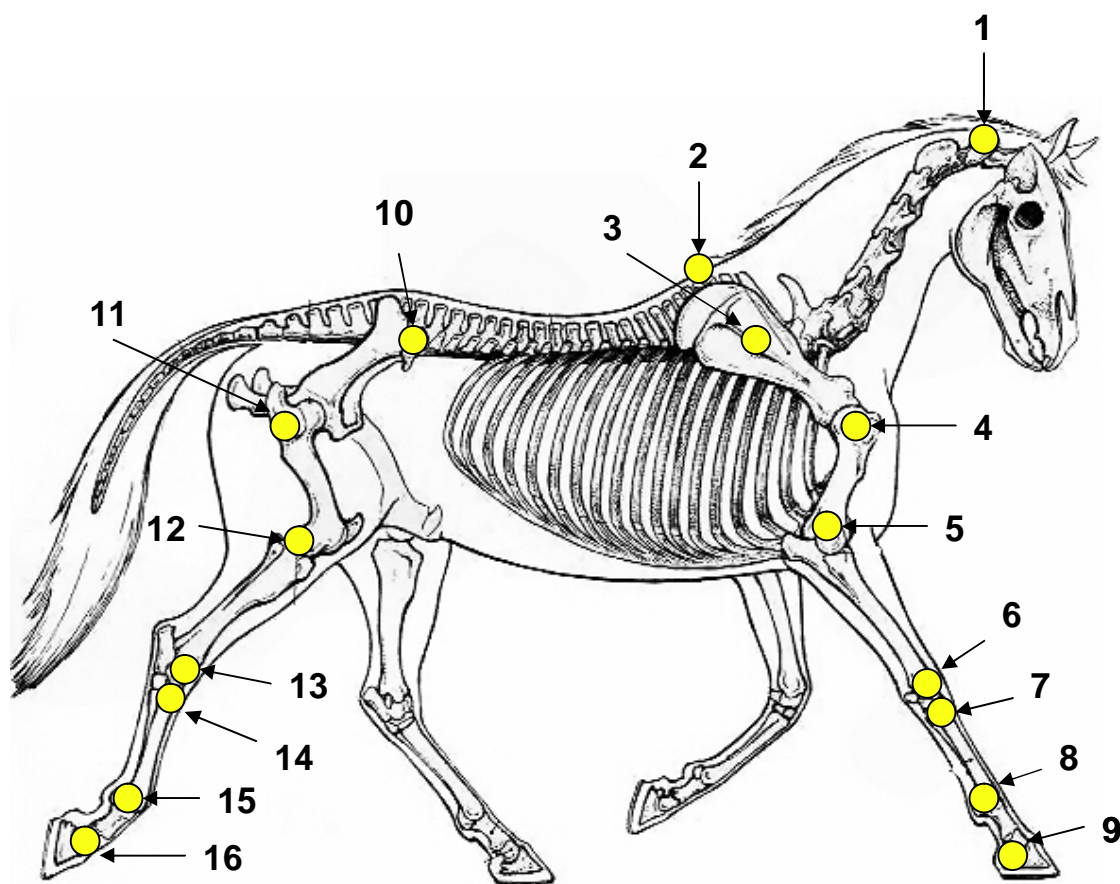


Figura 2.3: Esquema representando la posición de los marcadores retro-reflexivos sobre el caballo.

1. Ala del atlas; 2. Cruz (vértice de la apófisis espinosa de la 5ª vértebra torácica); 3. Tuberosidad de la espina de la escápula; 4. Porción caudal del tubérculo mayor del húmero; 5. Ligamento colateral lateral de la articulación del codo, a nivel de la interlínea articular; 6. Apófisis estilóidea lateral del radio; 7. Espacio entre los huesos: 4º carpiano, metacarpiano III y metacarpiano IV; 8. Ligamento colateral lateral de la articulación metacarpofalangiana, a nivel de la interlínea articular; 9. Corona del casco torácico (a nivel del eje del dedo); 10. Tuberosidad coxal; 11. Porción caudal del trocánter mayor del fémur; 12. Ligamento colateral lateral de la articulación femorotibial, a nivel de la interlínea articular; 13. Maléolo lateral de la tibia; 14. Espacio comprendido entre los huesos: 4º tarsiano, metatarsiano III y metatarsiano IV; 15. Ligamento colateral lateral de la articulación metatarsofalangiana, a nivel de la interlínea articular; 16. Corona del casco pelviano (a nivel de eje del dedo).

2.1.2. PREPARACIÓN DE LA PISTA

Se grabaron los animales sobre una pista lo más horizontal y regular que permitían las condiciones de las explotaciones visitadas. Eso significó que, en algunos casos, los caballos se grabaron moviéndose sobre piso duro (asfalto ó tierra compactada), mientras que en otros casos se grabaron sobre piso blando (arena del picadero). En todos los casos, siempre se utilizó un fondo oscuro, para mejorar el contraste con los marcadores retro-reflexivos.

2.1.3. CALIBRACIÓN Y GRABADO

Tras la preparación de la pista, se colocó un dispositivo de calibración sobre el plano por donde pasan los animales (figura 2.4). Ese dispositivo proporciona 20 puntos de control no coplanares, en posiciones bien conocidas sobre el espacio donde se producirá el movimiento a analizar. Los puntos de control se señalan a través de esferas de 3 cm. de diámetro colocadas en la extremidad de varillas de dimensión conocida, y cuya posición espacial puede ser fácilmente calculada debido al diseño del dispositivo (Garrido-Castro *et al.*, 2006).

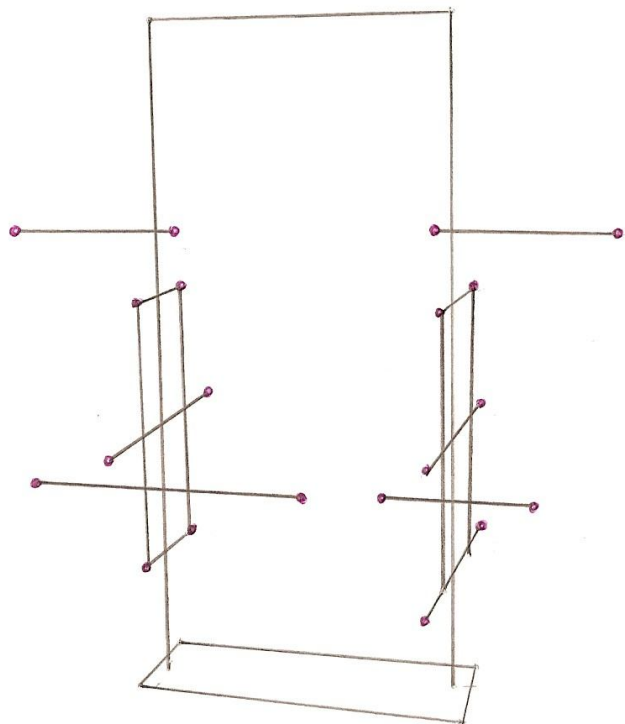


Figura 2.4: Esquema del dispositivo de calibración utilizado.

Se utilizaron 2 cámaras de video Digital 8, modelo SONY DCR-HC32E®, que se posicionaron oblicuamente a la derecha y a la izquierda del plano de calibración. Siempre hubo que posicionarlas de manera que las cámaras y el objeto de estudio definieran un ángulo mayor que 45° , para evitar errores (Borghese y Ferrino, 1990 *apud* Garrido-Castro *et al.*, 2006). Las cámaras se nivelaron con la horizontal utilizando el dispositivo presente en los trípodes de soporte, y se colocaron de modo que permitiese un ancho de campo de visión de alrededor de siete metros, con el fin de incluir al menos dos trancos consecutivos completos al trote (Cano, 1999c).

Tras grabar el dispositivo de calibración en las dos cámaras, este se retiró, para iniciar la grabación de los caballos. Cada uno de ellos se pasó varias veces sobre la pista antes de la grabación, con el fin de acostumbrarse a la misma. Seguidamente, los animales fueron grabados al trote, guiados de la mano. Para el estudio de la locomoción equina,

distintos autores recomiendan un análisis de 3 a 5 trancos del aire en estudio (Hildebrand, 1965; Drevemo *et al.*, 1980a; Martínez del Campo *et al.*, 1991; Holmström *et al.*, 1993; Deguerce *et al.*, 1997). En nuestro caso, en un estudio preliminar (datos no publicados), comparamos los resultados tras el análisis de 4, 5 ó 6 trancos de trote en 12 caballos. Como no se han encontrado diferencias significativas entre los resultados, y considerando la complejidad del trabajo de obtención de datos a partir de cada tranco y el elevado número de caballos de nuestro estudio, hemos optado por realizar el análisis grabando 4 trancos de trote para cada uno de los animales.

Cuando se utiliza más de una cámara en el procedimiento en tres dimensiones, es necesario utilizar un evento de sincronización entre cámaras (Garrido-Castro *et al.*, 2006). El dicho evento fue el encender de un dispositivo luminoso (Deguerce *et al.*, 1996), que se posicionó en el plano de calibración a la hora de grabar los caballos.

Finalmente, se convirtieron las secuencias de imagen Digital 8 en ficheros *Audio Video Interleaved* (*.avi), en Sistema PAL (tasa de muestreo de 50 Hz, correspondiente a 25 fotogramas por segundo, 625 líneas), con un tamaño de imagen de 720 x 576 pixels. La tasa de muestreo de 50 Hz es adecuada para el análisis del trote, según Clayton (2005), que afirma que la tasa de muestreo debe de ser 4 a 5 veces superior a la frecuencia del evento en estudio, lo que representa un mínimo de 25 Hz para los eventos del trote, y de 40 a 50 Hz para los eventos del galope.

2.1.4. DIGITALIZACIÓN

El proceso de digitalización consiste en indicar, para cada imagen, las coordenadas de cada punto en el sistema de referencias del plano de calibración. Esa es la tarea más compleja de todo el procedimiento (Garrido-Castro *et al.*, 2006), aunque el sistema utilizado en ese trabajo (SOMCAM 3D® - sistema óptico de medida, captura y análisis de movimiento tridimensional) permita automatizar este proceso.

En cada tranco se digitalizaron las dos secuencias de video correspondientes a cada cámara; las dos secuencias fueron sincronizadas al encender el dispositivo luminoso, como se ha descrito anteriormente.

2.1.5. RECONSTRUCCIÓN

La fase de digitalización fue seguida de la fase de reconstrucción, donde a partir de las dos secuencias en 2 dimensiones obtenidas por las cámaras posicionadas oblicuamente al plano de calibración, se obtuvieron los datos en 3 dimensiones, a través de un procedimiento de aplicación de los coeficientes DLT (Direct Linear Transformation, ó transformación lineal directa) calculados mediante el proceso de calibración. El proceso de reconstrucción tridimensional torna las coordenadas (x,y) de una marca en cada una de las cámaras y calcula las coordenadas espaciales (X,Y,Z) sobre el sistema de referencia definido en el proceso de calibración (Garrido-Castro, 2002).

2.1.6. SUAVIZADO Y NORMALIZACIÓN

En todo paso de un sistema continuo a otro discreto, en donde inciden diversas fuentes de imprecisión y de error experimental se produce, “ruido aleatorio”. Ese efecto no es

demasiado importante para las variables lineales, pero si lo es para las variables temporales, como la velocidad ó la aceleración, y debe ser corregido (Garrido-Castro, 2002). Esa corrección se obtuvo a través del sistema de análisis, que somete los datos a un suavizado con un filtro digital de Butterworth, con una frecuencia de corte de 10 Hz.

La normalización ó estandarización de los datos facilita la comparación entre sujetos. La normalización de la duración del tranco expresa las variables temporales como porcentajes de la duración del mismo. Eso facilita la comparación de trancos con duraciones que sean ligeramente diferentes, y permite la construcción de curvas promedio para un conjunto de trancos. Para realizar la normalización, el sistema aplica un cálculo de interpolación lineal, que reajusta cada secuencia para cien intervalos de tiempo (del 1 al 100%).

2.2. DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES

Para llegar al objetivo pretendido (obtención de una serie de mediciones sobre los sujetos que se mueven ante las cámaras), el sistema SOMCAM 3D® se basa en un modelo espacial, que incorpora, por un lado, una serie de puntos cuya posición en el espacio se necesita determinar, y, por otro, una serie de segmentos (definidos por dos puntos) cuyas dimensiones, ángulos, etc., se necesita medir (Garrido-Castro, 2002).

Se ha determinado experimentalmente el error absoluto medio del sistema utilizado (SOMCAM 3D®), que resultó ser de 2,12 mm en 990 mm; valor inferior al de otros sistemas de vídeo con funcionamientos semejantes (Garrido-Castro *et al.*, 2006).

Como se ha referido con anterioridad, se optó por grabar a cada caballo 4 veces consecutivas. Los resultados presentados para cada variable son los promedios de los valores obtenidos en cada uno de los 4 trancos de trote grabados para cada caballo.

2.2.1. VARIABLES MORFOMÉTRICAS

En este trabajo, se han considerado medidas morfométricas de los caballos, las que se establecieron con base:

- Longitudes de segmentos definidos por dos marcadores al instante de apoyo medio (*midstance*) del miembro torácico y del miembro pelviano.
- Inclinaciones: la inclinación de dichos segmentos con respecto a la horizontal (ángulo con la horizontal, medido por la cara flexora, respetando la comprensión anatómica de la extensión y la flexión) en el instante de apoyo medio.

Las medidas tomadas han sido las siguientes (refiriéndose a los marcadores de la figura 2.3):

- *Longitud de cuello*: distancia entre el atlas (marcador 1) y la tuberosidad de la espina de la escápula (marcador 3).
- *Longitud de la espalda*: distancia entre la tuberosidad de la espina de la escápula (marcador 3) y la articulación del hombro (marcador 4).

- *Longitud del brazo*: distancia entre la articulación del hombro (marcador 4) y el codo (marcador 5).
- *Longitud del antebrazo*: distancia entre el codo (marcador 5) y la región proximal del carpo (marcador 6).
- *Longitud de la caña torácica*: distancia entre la región distal del carpo (marcador 7) y el menudillo torácico (marcador 8).
- *Longitud de la cuartilla torácica*: distancia entre el menudillo (marcador 8) y la corona torácica (marcador 9).
- *Alzada a la cruz*: distancia entre la cruz (marcador 2) y la corona torácica (marcador 9), en la vertical.
- *Alzada a la escápula*: distancia entre la tuberosidad de la espina de la escápula (marcador 3) y la corona torácica (marcador 9), en la vertical.
- *Alzada al hombro*: distancia entre la articulación del hombro (marcador 4) y la corona torácica (marcador 9), en la vertical.
- *Longitud de la grupa*: distancia entre la tuberosidad coxal (marcador 10) y la articulación de la cadera (marcador 11).
- *Longitud del muslo*: distancia entre la articulación de la cadera (marcador 11) y la rodilla (marcador 12).
- *Longitud de la pierna*: distancia entre la rodilla (marcador 12) y la región proximal del tarso (marcador 13).
- *Longitud de la caña pelviana*: distancia entre la región distal del tarso (marcador 14) y el menudillo pelviano (marcador 15).
- *Longitud de la cuartilla pelviana*: distancia entre el menudillo pelviano (marcador 15) y la corona pelviana (marcador 16).
- *Longitud del dorso*: distancia entre la cruz (marcador 2) y la tuberosidad coxal (marcador 10).
- *Longitud escápula-coxal*: distancia entre la tuberosidad de la espina de la escápula (marcador 3) y la tuberosidad coxal (marcador 10).
- *Longitud de tronco*: distancia entre la articulación del hombro (marcador 4) y la articulación de la cadera (marcador 11).
- *Alzada al coxal*: distancia entre la articulación de la cadera (marcador 11) y la corona pelviana (marcador 16), en la vertical.

Como ha sido referido anteriormente, las inclinaciones de los distintos segmentos óseos en el instante de apoyo medio también se han considerado como variables morfológicas, para efectos del estudio genético; la descripción de estas variables se presenta en el apartado siguiente (variables biocinemáticas).

2.2.2. VARIABLES BIOCINEMÁTICAS

Se pueden evaluar numerosos parámetros biocinemáticos a través del sistema de análisis utilizado. De forma rutinaria se calculan la velocidad y algunos de los parámetros lineales, temporales y angulares.

La velocidad, que se expresa en m/s, se obtiene de la división de la distancia recorrida en cada tranco por la duración del mismo. Para la obtención del valor de la covariable velocidad en el estudio genético, se han promediado los valores de velocidad de los miembros torácico y pelviano para cada caballo.

2.2.2.1. Parámetros lineales:

- *Amplitud del tranco*: definida como la distancia entre dos pisadas consecutivas del miembro. Se calcula como la media aritmética de las amplitudes de los cuatro miembros (Deuel y Lawrence, 1987). Se expresa en centímetros. En nuestro caso, solamente se han calculado las amplitudes del tranco del miembro torácico derecho y del miembro pelviano derecho.
- *Longitud o distancia de sobrehuella*: es la distancia entre las coordenadas de las lumbres de los miembros torácico y pelviano ipsilaterales en el eje X, siendo positiva si el miembro pelviano sobrepasa la huella del miembro torácico (Leach *et al.*, 1984).
- *Bajo masa del tarso*: es la distancia entre las proyecciones sobre el eje horizontal de los marcadores 11 (articulación de la cadera) y 14 (región distal del tarso) en el instante en que el ángulo de flexión del tarso es mínimo.
- *Altura de la corona torácica*: es la distancia en la vertical entre el marcador 9 y el suelo.
- *Altura de la corona pelviana*: es la distancia en la vertical entre el marcador 16 y el suelo.

2.2.2.2. Parámetros temporales:

- *Duración del tranco*: es el período de tiempo ocupado por un ciclo completo de movimiento del miembro, o el tiempo transcurrido entre dos repeticiones del mismo evento en trancos consecutivos (Clayton, 2005). En nuestro caso, el evento ha sido el momento de apoyo del miembro.
- *Duración de la fase de apoyo*: se define como el período de tiempo en que el casco se encuentra en contacto con el suelo (Clayton, 2005). Hemos considerado el inicio del apoyo el instante en que las lumbres entran en contacto con el suelo, y el final del apoyo el instante en que las lumbres se separan del suelo. Se presentan los datos en segundos y en porcentaje del tranco.
- *Instante de apoyo medio*: es el instante en que el metacarpo está vertical (en el miembro torácico), y en que el casco se sitúa en la vertical desde la articulación de la cadera (en el miembro pelviano) (Cano, 1999c). Se presenta en porcentaje del tranco completo en el que ocurre. También se calcularon las duraciones de la fase de frenada y de la fase de propulsión (en porcentaje del tranco).
- *Duración de la fase de vuelo*: se define como el período de tiempo en que no existe contacto del casco con el suelo (Clayton, 2005). Hemos considerado el inicio del vuelo el instante en que las lumbres se separan del suelo, y el final del apoyo el instante en que las lumbres entran nuevamente en contacto con el suelo. Se presentan los datos en segundos y en porcentaje del tranco.
- *Instante de máxima elevación de la corona*: identifica, en porcentaje del tranco, el momento en que el marcador de la corona se encuentra más alejado del suelo.

2.2.2.3. Parámetros angulares:

Todas las variables se calcularon por la cara flexora, respetando la comprensión anatómica de la extensión y la flexión.

-
- *Inclinación del cuello*: se define como el ángulo formado por la línea que une el marcador 1 y el marcador 2 con la horizontal.
 - *Inclinación de la escápula*: es el ángulo respecto de la horizontal de la línea definida por los marcadores 3 y 4.
 - *Ángulo de la articulación del hombro*: se define por el ángulo determinado por los marcadores 3, 4 y 5.
 - *Inclinación del brazo*: es el ángulo respecto de la horizontal de la línea definida por los marcadores 4 y 5.
 - *Ángulo de la articulación del codo*: es el ángulo definido por los marcadores 4, 5 y 6.
 - *Inclinación del antebrazo*: es el ángulo respecto de la horizontal de la línea definida por los marcadores 5 y 6.
 - *Ángulo de la articulación del carpo*: es el ángulo definido por los segmentos 5-6 (antebrazo) y 7-8 (metacarpo).
 - *Inclinación del metacarpo*: es el ángulo respecto de la horizontal de la línea definida por los marcadores 7 y 8.
 - *Ángulo de la articulación metacarpofalangiana, o menudillo torácico*: es el ángulo definido por los marcadores 7, 8 y 9.
 - *Inclinación de la cuartilla*: es el ángulo respecto de la horizontal de la línea definida por los marcadores 8 y 9.
 - *Ángulo de retracción-protracción del miembro torácico*: ángulo craneal formado por la línea imaginaria que une los marcadores 2 y 9, y la horizontal que pasa por el marcador 2.
 - *Inclinación de la pelvis*: es el ángulo respecto de la horizontal de la línea definida por los marcadores 10 y 11.
 - *Ángulo de la articulación de la cadera*: es el ángulo definido por los marcadores 10, 11 y 12.
 - *Inclinación del muslo*: es el ángulo respecto de la horizontal de la línea definida por los marcadores 11 y 12.
 - *Ángulo de la articulación de la rodilla*: es el ángulo definido por los marcadores 11, 12 y 13.
 - *Inclinación de la pierna*: es el ángulo respecto de la horizontal de la línea definida por los marcadores 12 y 13.
 - *Ángulo de la articulación del tarso*: es el ángulo definido por los segmentos 12-13 (pierna) y 14-15 (metatarso).
 - *Inclinación del metatarso*: es el ángulo respecto de la horizontal de la línea definida por los marcadores 14 y 15.
 - *Articulación metatarsofalangiana, o menudillo pelviano*: es el ángulo definido por los marcadores 14, 15 y 16.
 - *Inclinación de la cuartilla*: es el ángulo respecto de la horizontal de la línea definida por los marcadores 15 y 16.
 - *Ángulo de retracción-protracción del miembro pelviano*: ángulo craneal formado por la línea imaginaria que une los marcadores 11 y 16, y la horizontal que pasa por el marcador 11.

Para cada una de estas variables se han obtenido los valores máximo y mínimo del ángulo, el rango (diferencia entre máximo y mínimo) y el instante en que ocurren (en porcentaje del tranco), correspondiendo el valor máximo a la máxima extensión, y el valor mínimo a la máxima flexión.

Se calcularon también los valores de cada una de ellas en cuatro momentos críticos: el inicio de la fase de apoyo, el instante de apoyo medio, el inicio de la fase de vuelo y el instante de máxima elevación.

2.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico de los datos se hizo utilizando el programa informático Statistica, v. 6 (Statsoft Inc., 2001). Para cada una de las variables en estudio se han calculado:

- La media de los 88 valores promediados, y su respectiva desviación estándar.
- El valor máximo y el valor mínimo obtenido para cada variable.
- El error estándar de la media, calculado como el cociente entre la desviación típica y la raíz cuadrada del número de individuos observados.
- El coeficiente de variación interindividual, calculado como el cociente entre la desviación estándar y la media de los 88 valores promediados.
- El coeficiente de variación intraindividual, obtenidos a partir de los 4 valores que se obtuvieron para cada medición en cada animal.

Para la determinación de los factores a incluir en el modelo de estimación de los parámetros genéticos se realizó un estudio previo de la posible influencia de los factores *explotación de procedencia*, y el *tipo de pista* donde se condujo al animal y de las covariables *coeficiente de consanguinidad*, *edad del animal* y *velocidad de movimiento del caballo*, en el caso de las variables biocinemáticas, y *explotación de procedencia*, y las covariables *coeficiente de consanguinidad*, y *edad del animal* en el caso de las variables morfométricas. Para ello se analizaron en un modelo mixto (proc mixed del SAS) que incluía como efecto aleatorio el *padre* del animal. En ambos casos se realizó una comparación del modelo con covariables lineales y cuadráticas. A continuación se presenta la correspondencia entre las variables elegidas para el estudio genético y la forma abreviada que se empleará para identificarlas en las tablas y figuras donde se exponen los resultados de este estudio.

VARIABLES MORFOMÉTRICAS:

Longitud de la espalda	LEsp	Longitud del muslo	LMus
Longitud del brazo	LBrz	Longitud de la pierna	LPie
Longitud del antebrazo	LAbz	Longitud de la caña pelviana	LCaP
Longitud de la caña torácica	LCaT	Longitud de la cuartilla pelviana	LCuP
Longitud de la cuartilla torácica	LCuT	Longitud del dorso	LDor
Alzada a la cruz	AlzCr	Longitud del tronco	LTrc
Inclinación de la espalda	IEsp	Alzada al coxal	AlzCx
Inclinación del brazo	IBrz	Inclinación de la grupa	IGrp
Inclinación del antebrazo	IAbz	Inclinación del muslo	IMus
Inclinación de la caña torácica	ICaT	Inclinación de la pierna	IPie
Inclinación de la cuartilla torácica	ICuT	Inclinación de la caña pelviana	ICaP
Longitud de la grupa	LGrp	Inclinación de la cuartilla pelviana	ICuP

Variables biocinemáticas:

Amplitud del tranco del miembro torácico	AmpT	Amplitud del tranco del miembro pelviano	AmpP
Rango de variación de la articulación del hombro	RVHo	Distancia de sobrehuella	DSobr
Rango de variación de la articulación del codo	RVCo	Rango de variación de la cadera	RVCd
Rango de variación de la articulación del carpo	RVCa	Rango de variación de la rodilla	RVRo
Rango de variación del menudillo torácico	RVMeT	Rango de variación de la articulación del tarso	RVTa
Ángulo máx. de protracción retracción torácico	MPRT	Rango de variación del menudillo pelviano	RVMeP
Ángulo mín. de protracción retracción torácico	mPRT	Ángulo máx. de protracción retracción pelviano	MPRP
Duración de la fase de apoyo del miembro torácico	DApT	Ángulo mín. de protracción retracción pelviano	mPRP
Duración de la fase de vuelo del miembro torácico	DVuT	Duración de la fase de apoyo del miembro pelviano	DAPp
Máxima elevación de la corona torácica	MElevT	Duración de la fase de vuelo del miembro pelviano	DVuP
		Máxima elevación de la corona pelviana	MElevP

Para estudiar las interrelaciones entre variables, se han efectuado las matrices de correlación de Pearson, un análisis de componentes principales, un análisis canónico discriminante y, finalmente, un análisis de varianza (ANOVA) para el factor aptitud y, para las variables biocinemáticas, un análisis de covarianza (ANCOVA) considerando la velocidad como covariable. Las medias estadísticamente diferentes se identificaron mediante el test de Tukey.

Las representaciones gráficas de las principales medidas morfométricas y los diagramas ángulo-tiempo se obtuvieron a partir del resultados del programa SOMCAM 3D, en una hoja de cálculo del Microsoft Excel®. Para los diagramas ángulo-tiempo se han empleado valores normalizados al 100% del tranco. En la figura 2.5 se presenta un ejemplo de las gráficas realizadas.

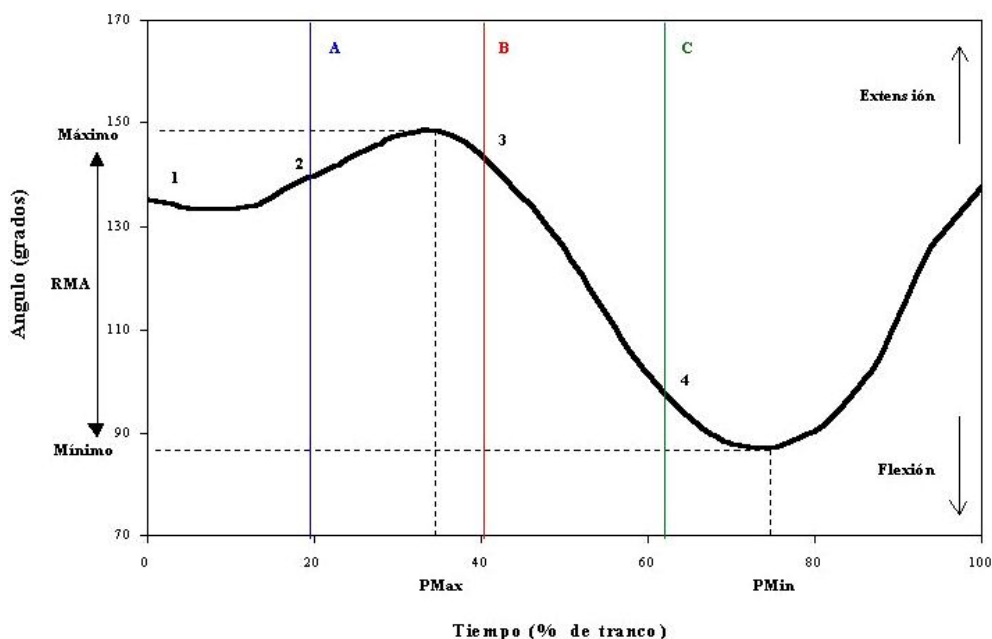


Figura 2.5. Ejemplo de un diagrama ángulo tiempo.

Máximo =Ángulo máximo (máxima extensión) Mínimo = Ángulo mínimo (máxima flexión) RMA =Rango de movimiento angular (Máximo- Mínimo).1= Ángulo al inicio del apoyo (T = 0) 2= Ángulo en el momento del apoyo medio (Apoyo medio) 3= Ángulo en el momento transición de la fase apoyo a la de vuelo (Ini elev) 4= Ángulo de la máxima elevación de las lumbres (Max elev.) PMax = Porcentaje del tranco en el que se produce el ángulo Máximo. PMin = Porcentaje del tranco en el que se produce el ángulo Mínimo. A = Posición de apoyo medio.B = Transición de la fase apoyo a la de vuelo. C = Momento de la máxima elevación de las lumbres.

2.4. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS

Para la estimación de los parámetros genéticos (heredabilidad y correlaciones genéticas) se eliminaron aquellas variables que se obtenían a partir de otras variables o que eran combinación lineal de otros caracteres, obteniendo un número final de 45 variables (24 morfométricas, y 21 biocinemáticas). En estas últimas se incluían 10 variables pertenecientes al miembro torácico y 11 al miembro pelviano.

El pedigrí necesario para el cálculo de la matriz inversa de relación se completó utilizando la información recogida en la base de datos on-line del *Stud Book* del caballo Lusitano (disponible en <http://www.snc.min-agricultura.pt/home.htm>), incluyendo todas las generaciones disponibles para los animales analizados, lo que determinó un total de 1275 animales. Para la estimación del coeficiente de consanguinidad se utilizó el programa Endog, versión 3.0 (Gutierrez y Goyache, 2005).

Los componentes de la varianza/covarianza y los parámetros genéticos (heredabilidades y correlaciones genéticas) se estimaron utilizando el programa VCE 5, versión 5.1.2 (Kovac y Groeneveld, 2003), con un modelo animal multivariado en el que se incluían como efectos fijos la *explotación de procedencia* y el *tipo de pista* y las covariables (lineales) *coeficiente de consanguinidad*, *edad del animal* y *velocidad* de movimiento del caballo en el caso de las variables biocinemáticas. En el caso de las variables morfométricas el modelo incluyó la *explotación de procedencia* como efecto fijo y el *coeficiente de consanguinidad*, y la *edad del animal* como covariables. En ambos casos el *efecto genético directo del animal* se incluyó como efecto aleatorio.

Este programa utiliza para la estimación de las varianzas y covarianzas un procedimiento REML (Restricted Maximum Likelihood), utilizando un algoritmo de iterativo Quasi-Newton. El error típico de las estimas se calculó a partir de la matriz inversa mediante la aproximación de Hessian cuando se consiguió la convergencia (Groeneveld, 1996).



RESULTADOS

1. DATOS MORFOMÉTRICOS

Se recogieron los datos de las variables morfométricas de los 88 caballos, de acuerdo con la metodología descrita anteriormente. Los resultados estadísticos descriptivos se presentan en la tabla 3.1. Los valores de cada ángulo y de la inclinación de cada segmento en el instante de apoyo medio se presentan posteriormente en los resultados de las variables biocinemáticas, aunque en el estudio genético se haya considerado la inclinación de cada segmento en el instante de apoyo medio como una variable morfométrica.

En general, los resultados muestran baja variabilidad; los coeficientes de variación interindividuales se sitúan entre los 3,37% (*alzada a la cruz*) y los 13,87% (*longitud de la grupa*), mientras que la magnitud de los coeficientes de variabilidad intraindividuales es todavía más baja, variando entre los 0,92% (*alzada a la cruz*) y los 4,61% (*longitud de la cuartilla pelviana*). Las figuras 3.1 y 3.2. representan los valores medios y el rango de variación de los principales segmentos medidos y de los principales ángulos en el instante de apoyo medio, respectivamente.

Tabla 3.1. Estadísticos descriptivos de las variables morfométricas.

Variable (cm)	Media ± D. Est.	Max.	Mín.	Err.Est.	C.V.e	C.V.i
Alzada a la cruz	151,20 ± 5,10	162,88	142,36	0,27	3,37%	0,92%
Alzada a la escápula	134,68 ± 5,10	147,26	125,13	0,27	3,78%	1,12%
Alzada al hombro	104,15 ± 5,04	116,65	95,49	0,27	4,84%	1,58%
Alzada a la cadera	123,21 ± 5,84	136,47	106,24	0,31	4,74%	1,61%
Alzada al coxal	137,07 ± 5,46	150,84	126,59	0,29	3,99%	1,41%
Longitud del cuello	68,96 ± 4,67	84,11	56,43	0,50	6,76%	4,09%
Longitud de la espalda	34,56 ± 2,74	40,42	27,93	0,15	7,94%	1,68%
Longitud del brazo	30,44 ± 2,27	34,79	22,33	0,12	7,45%	2,32%
Longitud del antebrazo	37,36 ± 2,31	44,25	33,10	0,12	6,19%	1,73%
Longitud de la caña torácica	22,06 ± 1,51	25,38	18,55	0,08	6,85%	2,11%
Longitud de la cuartilla torácica	12,35 ± 1,31	14,95	9,33	0,07	10,58%	4,24%
Longitud de la grupa	37,15 ± 5,15	48,95	25,47	0,27	13,87%	2,33%
Longitud del muslo	43,26 ± 4,50	51,62	26,15	0,24	10,40%	1,78%
Longitud de la pierna	32,20 ± 3,30	40,95	25,81	0,18	10,24%	2,18%
Longitud de la caña pelviana	28,02 ± 1,54	31,01	24,63	0,08	5,49%	1,87%
Longitud de la cuartilla pelviana	12,38 ± 1,29	16,17	10,21	0,07	10,42%	4,61%
Longitud del dorso	72,65 ± 6,44	92,94	61,02	0,34	8,87%	2,72%
Longitud escápula-coxal	88,72 ± 5,44	104,27	78,12	0,29	6,13%	2,22%
Longitud del tronco	140,10 ± 8,00	155,37	124,45	0,43	5,71%	2,04%

Nota: D. Est. = desviación estandar; Max = valor máximo; Min = valor mínimo; Err. Est. = error estandar; CV e = coef. de variación interindividual; CV i = coef. de variación intraindividual.

Los rangos de variación (diferencia entre valor máximo y valor mínimo) de las alzadas y distancias/longitudes, en porcentaje de la media, han variado entre el 13,57% (alzada a la cruz) y el 63,21% (longitud de la grupa). Por su parte, los rangos de variación de los ángulos han variado entre el 8% (carpo) y el 42% (cadera) de la media.

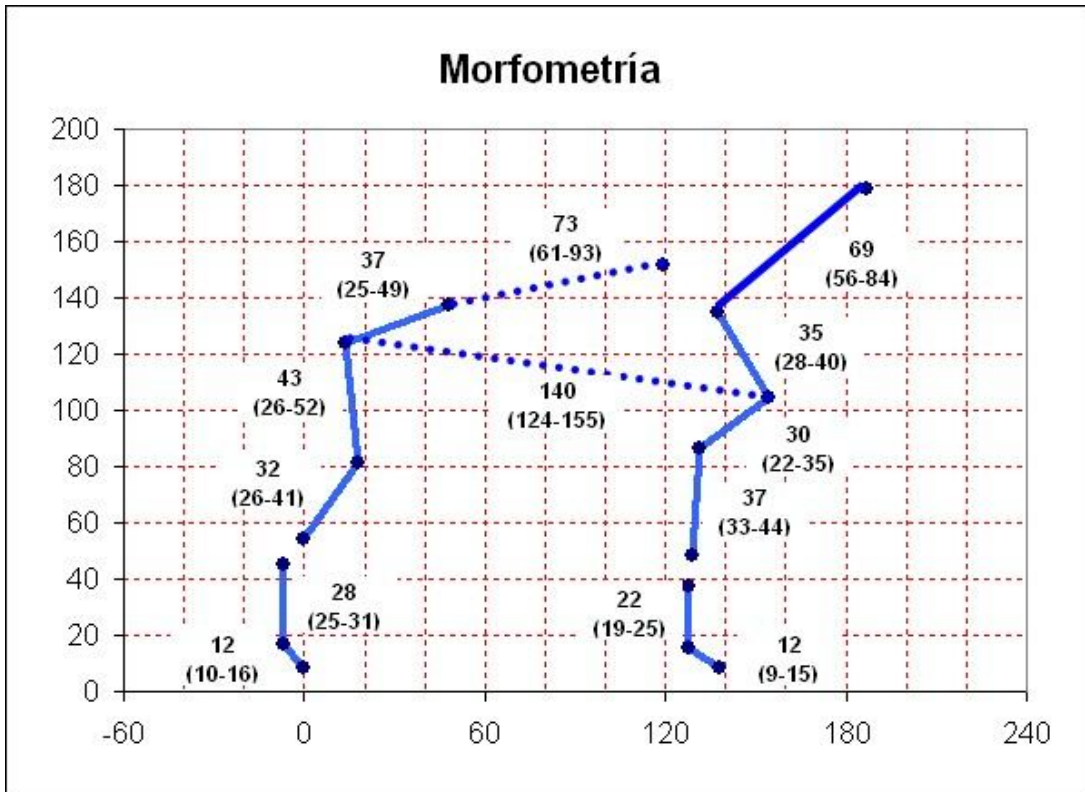


Figura 3.1. Variables morfométricas: distancias entre marcadores; se exhiben los valores medios (por encima) y los valores máximos y mínimos (por abajo).

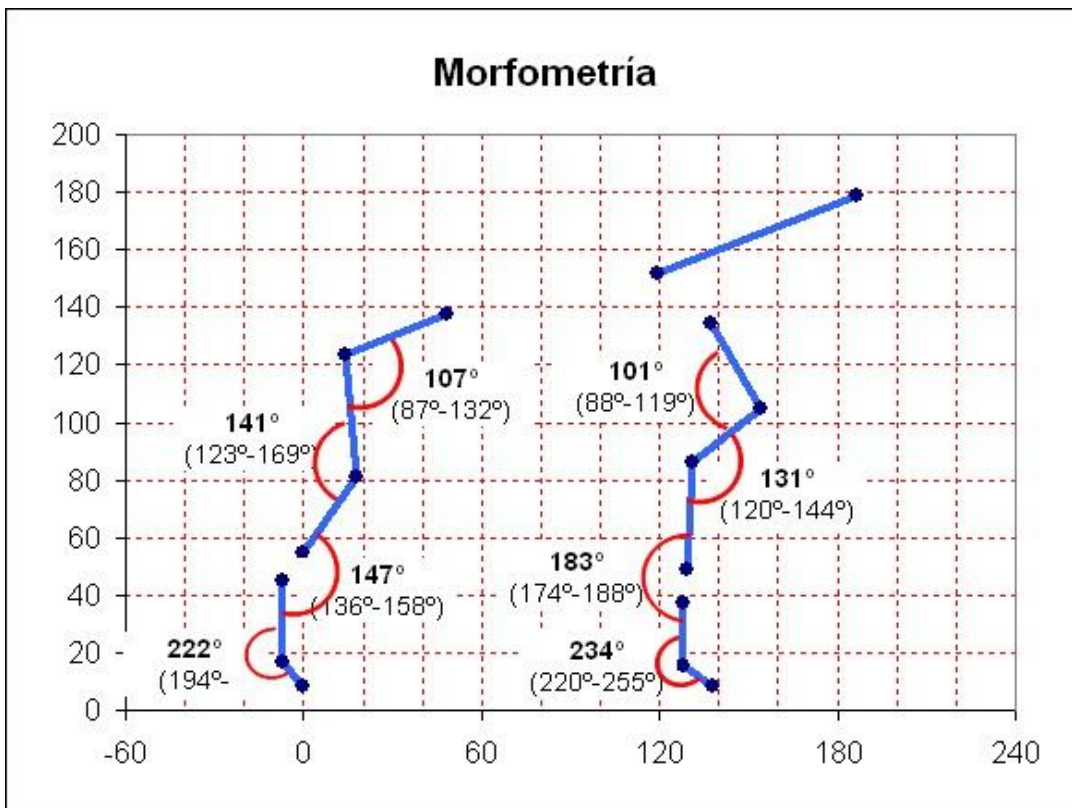


Figura 3.2. Variables morfométricas: ángulos en el instante de apoyo medio (em grados); se exhiben los valores medios, y los valores mínimos y máximos (por abajo del valor medio).

2. DATOS BIOCINEMÁTICOS DEL TROTE

Las tablas 3.2., 3.3. y 3.4. presentan los estadísticos descriptivos básicos de la velocidad y parámetros lineales del trote, parámetros temporales del miembro torácico y del miembro pelviano, respectivamente.

La velocidad media fue muy cercana a los 3 m/s. Para los parámetros lineales, las variabilidades son relativamente elevadas, y muy elevadas para la *longitud de la sobrehuella* y la *distancia de bajo masa del tarso*. La variable que presenta mayor variabilidad interindividual es la *longitud de la sobrehuella* (45,10%), mientras que la que presenta la mayor variabilidad intraindividual es la *distancia de bajo masa del tarso* (32,07%). En cuanto a las variables temporales, en el miembro torácico los parámetros que presentaron mayor variabilidad han sido los valores absolutos y relativos para las *duraciones de la fase de frenada y propulsión* (incluyendo el instante de apoyo medio, que corresponde al final de la fase de frenada). En el miembro pelviano, la *duración de la fase de propulsión* (valor absoluto y valor en porcentaje de tranco) presentó la variabilidad más elevada.

Tabla 3.2. Estadísticos básicos de la velocidad y de los parámetros lineales y temporales del tranco en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.

	Media ± D. Est.	Máx.	Mín.	Err.Est.	C.V.e	C.V.i
Velocidad del m. torácico (m/s)	3,07 ± 0,44	4,41	2,13	0,02	14,39%	6,94%
Velocidad del m. pelviano (m/s)	3,12 ± 0,46	4,55	2,27	0,03	14,80%	7,05%
Amplitud del tranco torácico (cm)	219,80 ± 28,23	309,04	174,86	1,51	12,84%	5,30%
Amplitud del tranco pelviano (cm)	222,34 ± 30,59	324,96	174,97	1,63	13,76%	5,49%
Sobrehuella (cm)	-10,81 ± 4,87	15,60	-31,85	2,44	45,10%*	3,23%*
Bajo masa del tarso (cm)	5,17 ± 1,98	18,58	-7,14	0,99	38,38%	32,07%
Max elev torácico (cm)	27,63 ± 4,94	36,88	18,92	0,26	17,86%	9,09%
Max elev pelviano (cm)	21,79 ± 4,40	33,18	13,97	0,23	20,18%	8,61%

Nota: D. Est. = desviación estandar; Max = valor máximo; Min = valor mínimo; Err. Est. = error estandar; CV e = coef. de variación interindividual; CV i = coef. de variación intraindividual.

* Como las medias corresponden a valores negativos, el C.V.i representa, en estos casos, (D.Est./Valor absoluto de la media)*100.

Tabla 3.3. Estadísticos básicos de los parámetros temporales del tranco del miembro torácico en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.

	Media ± D. Est.	Máx.	Mín.	Err.Est.	C.V.e	C.V.i
Duración del tranco (s)	0,72 ± 0,05	0,83	0,65	<0,01	6,72%	4,18%
Duración del apoyo (s)	0,31 ± 0,04	0,44	0,24	<0,01	14,10%	7,81%
Duración del vuelo (s)	0,41 ± 0,04	0,49	0,33	<0,01	10,40%	5,88%
Duración de la frenada (s)	0,13 ± 0,03	0,20	0,07	<0,01	21,54%	14,18%
Duración de la propulsión (s)	0,18 ± 0,04	0,27	0,13	<0,01	20,46%	10,40%
Duración del apoyo (% del tranco)	43,45 ± 4,89	53,08	34,30	0,26	11,26%	6,12%
Duración del vuelo (% del tranco)	56,55 ± 4,89	65,70	46,92	0,26	8,65%	4,72%
Instante de apoyo medio (% del tranco)	18,26 ± 3,67	26,00	9,75	0,20	20,11%	12,64%
Duración de la frenada (% del tranco)	18,26 ± 3,67	26,00	9,75	0,20	20,11%	12,64%
Duración de la propulsión (% del tranco)	25,20 ± 4,59	32,86	16,95	0,24	18,23%	9,77%
Max elev (% del tranco)	65,69 ± 5,78	77,75	55,00	0,31	8,81%	5,02%
Max elev (% de la fase de vuelo)	39,19 ± 9,58	57,79	27,44	0,51	24,44%	14,31%

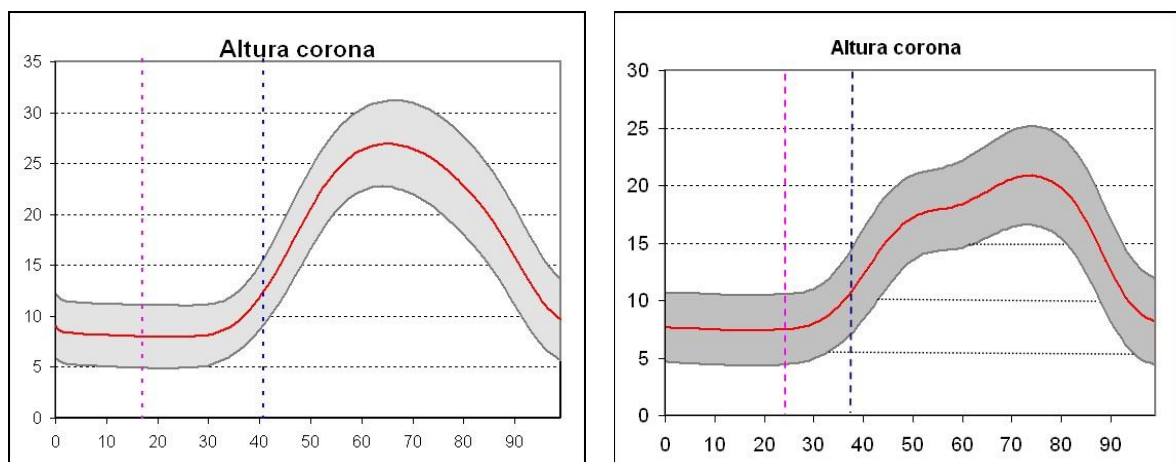
Nota: D. Est. = desviación estandar; Max = valor máximo; Min = valor mínimo; Err. Est. = error estandar; CV e = coef. de variación interindividual; CV i = coef. de variación intraindividual.

Tabla 3.4. Estadísticos básicos de los parámetros temporales del tranco del miembro pelviano en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.

	Media ± D. Est.	Máx.	Mín.	Err.Est.	C.V.e	C.V.i
Duración del tranco (s)	0,71 ± 0,04	0,83	0,64	<0,01	6,14%	3,33%
Duración del apoyo (s)	0,28 ± 0,05	0,45	0,21	<0,01	18,12%	8,58%
Duración del vuelo (s)	0,43 ± 0,06	0,52	0,29	<0,01	13,09%	5,66%
Duración de la frenada (s)	0,18 ± 0,03	0,25	0,11	<0,01	18,02%	9,88%
Duración de la propulsión (s)	0,11 ± 0,04	0,24	0,05	<0,01	40,77%	13,93%
Duración del apoyo (% del tranco)	39,46 ± 6,92	62,15	29,34	0,37	17,55%	6,98%
Duración del vuelo (% del tranco)	60,54 ± 6,92	70,66	37,85	0,37	11,44%	5,40%
Instante de apoyo medio (% del tranco)	24,48 ± 3,93	33,00	15,00	0,21	16,07%	8,12%
Duración de la frenada (% del tranco)	24,48 ± 3,93	33,00	15,00	0,21	16,07%	8,12%
Duración de la propulsión (% del tranco)	14,99 ± 6,27	34,15	7,20	0,33	41,81%	13,53%
Max elev (% del tranco)	70,99 ± 9,87	81,25	48,50	0,53	13,91%	6,92%
Max elev (% de la fase de vuelo)	50,74 ± 7,95	63,23	32,91	0,42	15,67%	8,54%

Nota: D. Est. = desviación estandar; Max = valor máximo; Min = valor mínimo; Err. Est. = error estandar; CV e = coef. de variación interindividual; CV i = coef. de variación intraindividual.

En las gráficas de la figura 3.3 se representa la altura a la que se encontró el marcador de la corona durante el tranco del miembro torácico y del miembro pelviano. Observamos que la *elevación máxima* ocurre alrededor del 65% del tranco del miembro torácico, y del 75% del tranco del miembro pelviano.



Nota: El tiempo (eje de abcisas) se expresa en porcentaje del tranco, mientras que la altura (eje de ordenadas) se expresa en centímetros. La línea rosa indica el instante de apoyo medio, y la línea azul indica la transición de la fase de apoyo a la fase de vuelo

Figura 3.3. Variables biocinemáticas: altura de la corona durante el tranco del miembro torácico (izquierda) y del miembro pelviano (derecha).

En las tablas 3.5 a 3.15 se presentan los resultados estadísticos descriptivos para los parámetros angulares en el miembro torácico, seguidas de su representación gráfica en las figuras 3.3 y 3.4.

En lo que respecta al *ángulo del cuello* (tabla 3.5), verificamos que la variabilidad, tanto interindividual como intraindividual es bastante elevada para prácticamente todos los parámetros analizados, lo que implica que, para estas variables, la media no es un indicador cuantificativo fiable. Además de los coeficientes de variación

RESULTADOS

interindividuales elevados (indicadores de poca homogeneidad de la muestra), resaltan los elevados valores de los coeficientes de variación intraindividuales, que son, en algunos casos, de valor más elevado que el coeficiente de variación interindividual.

Tabla 3.5. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo de inclinación del cuello en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.

	Media ± D. Est.	Máx	Mín	Err.Est.	C.V.e	C.V.i
Ángulo máximo (°)	24,50 ± 9,32	42,90	6,23	0,50	38,05%	21,85%
Instante del á. máximo (% de tranco)	46,74 ± 35,01	81,25	4,75	1,87	74,90%	76,50%
Ángulo mínimo (°)	17,02 ± 9,16	36,21	-0,12	0,49	53,81%	66,00%*
Instante del á. mínimo (% de tranco)	52,21 ± 37,71	93,75	1,00	2,01	72,23%	72,68%
Rango Medio de Variación (°)	7,48 ± 4,06	14,44	3,82	0,22	54,31%	38,66%
Ángulo en T=0 (°)	21,03 ± 9,52	40,70	3,41	0,51	45,29%	28,07%
Ángulo al inicio de la elevación (°)	20,07 ± 9,22	38,94	2,95	0,49	45,93%	28,76%
Ángulo en la máxima elevación (°)	21,66 ± 9,09	39,52	4,66	0,48	41,96%	27,98%
Ángulo en el inst. apoyo medio (°)	20,25 ± 9,27	39,10	2,99	0,49	45,80%	28,53%

Nota: D. Est. = desviación estandar; Max = valor máximo; Min = valor mínimo; Err. Est. = error estandar; CV e = coef. de variación interindividual; CV i = coef. de variación intraindividual.

* Como la media del individuo corresponde a un valor angular negativo, el C.V.i representa, en este caso, (D.Est./Valor absoluto de la media)*100.

En cuanto a las variables angulares más proximales del miembro torácico (las que se refieren a la *inclinación de la escápula*, *ángulo del hombro* e *inclinación del brazo*, tablas 3.6, 3.7 y 3.8), estas presentan valores de variabilidad bajos, con excepción de los parámetros que sitúan un evento relativamente al instante (% del tranco) en que ocurre.

Tabla 3.6. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo de inclinación de la escápula en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.

	Media ± D. Est.	Máx	Mín	Err.Est.	C.V.e	C.V.i
Ángulo máximo (°)	69,10 ± 5,50	86,63	57,29	0,29	7,96%	2,86%
Instante del á. máximo (% de tranco)	35,81 ± 5,96	44,75	24,50	0,32	16,64%	12,61%
Ángulo mínimo (°)	52,63 ± 4,09	63,98	43,71	0,22	7,78%	2,59%
Instante del á. mínimo (% de tranco)	75,75 ± 31,30	100,00	24,50	1,67	41,33%	38,60%
Rango Medio de Variación (°)	16,47 ± 3,19	23,73	11,59	0,17	19,36%	10,81%
Ángulo en T=0 (°)	55,39 ± 4,51	69,48	44,88	0,24	8,15%	2,68%
Ángulo al inicio de la elevación (°)	64,38 ± 5,58	80,53	51,71	0,30	8,67%	3,19%
Ángulo en la máxima elevación (°)	57,66 ± 5,14	74,22	46,67	0,27	8,92%	3,70%
Ángulo en el inst. de apoyo medio (°)	62,57 ± 5,28	78,76	50,21	0,28	8,44%	3,01%

Nota: D. Est. = desviación estandar; Max = valor máximo; Min = valor mínimo; Err. Est. = error estandar; CV e = coef. de variación interindividual; CV i = coef. de variación intraindividual.

Tabla 3.7. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo del hombro en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.

	Media ± D. Est.	Máx	Mín	Err.Est.	C.V.e	C.V.i
Ángulo máximo (°)	110,46 ± 6,62	129,68	98,82	0,35	5,99%	1,50%
Instante del á. máximo (% de tranco)	62,58 ± 42,37	98,75	1,00	2,26	67,71%	69,89%
Ángulo mínimo (°)	98,59 ± 5,91	114,27	87,33	0,31	5,99%	1,40%
Instante del á. mínimo (% de tranco)	32,49 ± 27,57	87,00	9,00	1,47	84,86%	56,01%
Rango Medio de Variación (°)	11,87 ± 2,87	17,59	7,90	0,15	24,18%	15,12%
Ángulo en T=0 (°)	108,04 ± 6,94	129,55	94,25	0,37	6,43%	2,09%
Ángulo al inicio de la elevación (°)	101,13 ± 6,45	119,77	88,19	0,34	6,38%	1,54%
Ángulo en la máxima elevación (°)	103,05 ± 5,89	119,35	91,25	0,31	5,72%	1,51%
Ángulo en el inst. de apoyo medio (°)	100,84 ± 6,46	119,13	88,04	0,34	6,40%	1,61%

Nota: D. Est. = desviación estandar; Max = valor máximo; Min = valor mínimo; Err. Est. = error estandar; CV e = coef. de variación interindividual; CV i = coef. de variación intraindividual.

Tabla 3.8. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo de inclinación del brazo en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.

	Media ± D. Est.	Máx	Mín	Err.Est.	C.V.e	C.V.i
Ángulo máximo (°)	146,58 ± 4,76	156,20	136,09	0,25	3,25%	1,38%
Instante del á. máximo (% de tranco)	30,69 ± 6,49	47,75	22,00	0,35	21,16%	11,81%
Ángulo mínimo (°)	124,31 ± 5,43	137,15	108,96	0,29	4,36%	1,59%
Instante del á. mínimo (% de tranco)	72,92 ± 40,67	99,25	24,25	2,17	55,77%	60,36%
Rango Medio de Variación (°)	22,27 ± 3,58	29,35	16,50	0,19	16,08%	9,54%
Ángulo en T=0 (°)	127,35 ± 5,38	139,74	109,54	0,29	4,22%	1,85%
Ángulo al inicio de la elevación (°)	143,25 ± 4,93	151,52	131,50	0,26	3,44%	1,44%
Ángulo en la máxima elevación (°)	134,62 ± 5,40	144,45	125,40	0,29	4,01%	1,84%
Ángulo en el inst. de apoyo medio (°)	141,74 ± 5,03	151,21	129,53	0,27	3,55%	1,33%

Nota: D. Est. = desviación estandar; Max = valor máximo; Min = valor mínimo; Err. Est. = error estandar; CV e = coef. de variación interindividual; CV i = coef. de variación intraindividual.

Para las demás variables del miembro torácico, se observan valores de variabilidad baja con excepción de algunas que expresan el instante, en porcentaje de tranco, en que ocurre el valor más alto o más bajo para un determinado ángulo; por ejemplo, el *instante en que ocurren el ángulo máximo del carpo* (tabla 3.11) y el *ángulo máximo del menudillo* (tabla 3.13), o el *instante en que ocurre la inclinación mínima de la cuartilla* (tabla 3.14), dado que los 3 valores están relacionados entre sí.

Hay que destacar que, con las excepciones ya referidas, los demás valores de coeficiente de variación intraindividual se presentan casi siempre por debajo del 10%, y en muchos casos por debajo del 5%, lo que refleja una estabilidad de los valores de las variables para el mismo individuo en los 4 trancos medidos.

RESULTADOS

Tabla 3.9. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo del codo en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.

	Media ± D. Est.	Máx	Mín	Err.Est.	C.V.e	C.V.i
Ángulo máximo (°)	143,99 ± 5,33	158,61	130,49	0,28	3,70%	1,50%
Instante del á. máximo (% de tranco)	36,62 ± 4,51	45,75	27,75	0,24	12,31%	7,16%
Ángulo mínimo (°)	80,07 ± 7,44	101,18	63,39	0,40	9,30%	3,99%
Instante del á. mínimo (% de tranco)	76,23 ± 4,29	83,00	65,00	0,23	5,63%	3,52%
Rango Medio de Variación (°)	63,91 ± 6,66	79,58	49,37	0,36	10,42%	5,44%
Ángulo en T=0 (°)	122,59 ± 7,26	140,46	104,99	0,39	5,92%	2,77%
Ángulo al inicio de la elevación (°)	132,70 ± 5,75	145,66	121,56	0,31	4,33%	1,88%
Ángulo en la máxima elevación (°)	91,33 ± 10,87	114,70	69,26	0,58	11,90%	6,46%
Ángulo en el inst. de apoyo medio (°)	130,88 ± 5,49	143,92	120,28	0,29	4,19%	1,62%

Nota: D. Est. = desviación estandar; Max = valor máximo; Min = valor mínimo; Err. Est. = error estandar; CV e = coef. de variación interindividual; CV i = coef. de variación intraindividual.

Tabla 3.10. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo de inclinación del antebrazo en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.

	Media ± D. Est.	Máx	Mín	Err. Est.	C.V.e	C.V.i
Ángulo máximo (°)	108,50 ± 3,49	115,49	98,98	0,19	3,22%	1,76%
Instante del á. máximo (% de tranco)	35,73 ± 4,27	45,75	28,00	0,23	11,94%	6,47%
Ángulo mínimo (°)	30,96 ± 6,84	50,78	14,26	0,36	22,10%	11,12%
Instante del á. mínimo (% de tranco)	76,74 ± 3,94	83,75	66,50	0,21	5,13%	3,08%
Rango Medio de Variación (°)	77,53 ± 6,57	94,61	59,50	0,35	8,48%	4,15%
Ángulo en T=0 (°)	69,94 ± 4,93	77,92	55,25	0,26	7,04%	4,41%
Ángulo al inicio de la elevación (°)	95,95 ± 4,21	106,82	86,33	0,22	4,39%	2,48%
Ángulo en la máxima elevación (°)	45,95 ± 12,85	67,23	16,98	0,69	27,98%	16,53%
Ángulo en el inst. de apoyo medio (°)	92,61 ± 3,39	98,70	84,44	0,18	3,67%	1,54%

Nota: D. Est. = desviación estandar; Max = valor máximo; Min = valor mínimo; Err. Est. = error estandar; CV e = coef. de variación interindividual; CV i = coef. de variación intraindividual.

Tabla 3.11. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo del carpo en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.

	Media ± D.Est.	Máx	Mín	Err. Est.	C.V.e	C.V.i
Ángulo máximo (°)	184,12 ± 3,14	191,51	177,36	0,17	1,71%	0,61%
Instante del á. máximo (% de tranco)	22,29 ± 22,83	51,00	7,25	1,22	102,42%	63,38%
Ángulo mínimo (°)	89,54 ± 8,76	107,80	70,85	0,47	9,78%	4,44%
Instante del á. mínimo (% de tranco)	64,05 ± 4,10	73,00	56,00	0,22	6,40%	3,93%
Rango Medio de Variación (°)	94,59 ± 8,52	111,28	74,46	0,45	9,01%	4,35%
Ángulo en T=0 (°)	178,61 ± 4,44	188,45	167,02	0,24	2,48%	1,33%
Ángulo al inicio de la elevación (°)	182,39 ± 3,41	188,49	174,16	0,18	1,87%	0,86%
Ángulo en la máxima elevación (°)	93,50 ± 10,91	124,88	71,17	0,58	11,67%	5,77%
Ángulo en el inst. de apoyo medio (°)	182,62 ± 3,37	188,65	174,34	0,18	1,84%	0,76%

Nota: D. Est. = desviación estandar; Max = valor máximo; Min = valor mínimo; Err. Est. = error estandar; CV e = coef. de variación interindividual; CV i = coef. de variación intraindividual.

Tabla 3.12. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo de inclinación del metacarpo en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.

	Media ± D.Est.	Máx	Mín	Err. Est.	C.V.e	C.V.i
Ángulo máximo (°)	147,23 ± 6,20	162,66	135,51	0,33	4,21%	2,67%
Instante del á. máximo (% de tranco)	57,18 ± 4,38	66,00	43,75	0,23	7,67%	4,14%
Ángulo mínimo (°)	65,46 ± 4,05	73,53	56,27	0,22	6,19%	3,01%
Instante del á. mínimo (% de tranco)	87,65 ± 21,04	97,00	47,00	1,12	24,01%	15,75%
Rango Medio de Variación (°)	81,77 ± 6,84	98,20	69,70	0,36	8,36%	5,21%
Ángulo en T=0 (°)	71,32 ± 3,49	78,81	64,59	0,19	4,90%	3,28%
Ángulo al inicio de la elevación (°)	93,56 ± 4,84	105,95	85,34	0,26	5,17%	3,06%
Ángulo en la máxima elevación (°)	132,45 ± 16,24	158,86	91,52	0,87	12,26%	7,13%
Ángulo en el inst. de apoyo medio (°)	89,99 ± 0,36	90,39	89,60	0,02	0,40%	0,38%

Nota: D. Est. = desviación estandar; Max = valor máximo; Min = valor mínimo; Err. Est. = error estandar; CV e = coef. de variación interindividual; CV i = coef. de variación intraindividual.

Tabla 3.13. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo del menudillo torácico en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.

	Media ± D.Est.	Máx	Mín	Err.Est.	C.V.e	C.V.i
Ángulo máximo (°)	236,44 ± 7,94	255,69	221,57	0,42	3,36%	1,38%
Instante del á. máximo (% de tranco)	20,51 ± 6,54	41,50	13,00	0,35	31,91%	18,65%
Ángulo mínimo (°)	146,69 ± 9,27	167,60	128,19	0,49	6,32%	3,25%
Instante del á. mínimo (% de tranco)	72,39 ± 8,19	83,25	54,50	0,44	11,31%	7,62%
Rango Medio de Variación (°)	89,74 ± 9,98	111,63	71,50	0,53	11,12%	6,86%
Ángulo en T=0 (°)	206,23 ± 9,56	224,47	191,59	0,51	4,64%	2,98%
Ángulo al inicio de la elevación (°)	233,99 ± 8,36	250,78	218,44	0,45	3,57%	1,67%
Ángulo en la máxima elevación (°)	161,11 ± 11,93	188,36	142,62	0,64	7,41%	3,84%
Ángulo en el inst. de apoyo medio (°)	234,42 ± 8,07	254,57	220,02	0,43	3,44%	1,43%

Nota: D. Est. = desviación estandar; Max = valor máximo; Min = valor mínimo; Err. Est. = error estandar; CV e = coef. de variación interindividual; CV i = coef. de variación intraindividual.

Tabla 3.14. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo de inclinación de la cuartilla torácica en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.

	Media ± D.Est.	Máx	Mín	Err.Est.	C.V.e	C.V.i
Ángulo máximo (°)	159,92 ± 7,31	177,70	142,61	0,43	4,57%	2,55%
Instante del á. máximo (% de tranco)	56,39 ± 5,48	68,00	44,00	0,33	9,72%	6,51%
Ángulo mínimo (°)	33,13 ± 7,22	47,93	14,97	0,40	21,80%	9,58%
Instante del á. mínimo (% de tranco)	13,27 ± 3,54	21,00	3,00	1,02	26,64%	47,74%
Rango Medio de Variación (°)	126,79 ± 9,10	155,06	103,33	0,52	7,18%	4,10%
Ángulo en T=0 (°)	45,09 ± 7,14	59,09	28,30	0,46	15,84%	11,30%
Ángulo al inicio de la elevación (°)	39,71 ± 7,40	56,13	21,82	0,50	18,62%	11,93%
Ángulo en la máxima elevación (°)	151,32 ± 12,50	172,68	101,12	0,79	8,26%	5,28%
Ángulo en el inst. de apoyo medio (°)	35,74 ± 7,39	50,60	15,50	0,43	20,66%	9,67%

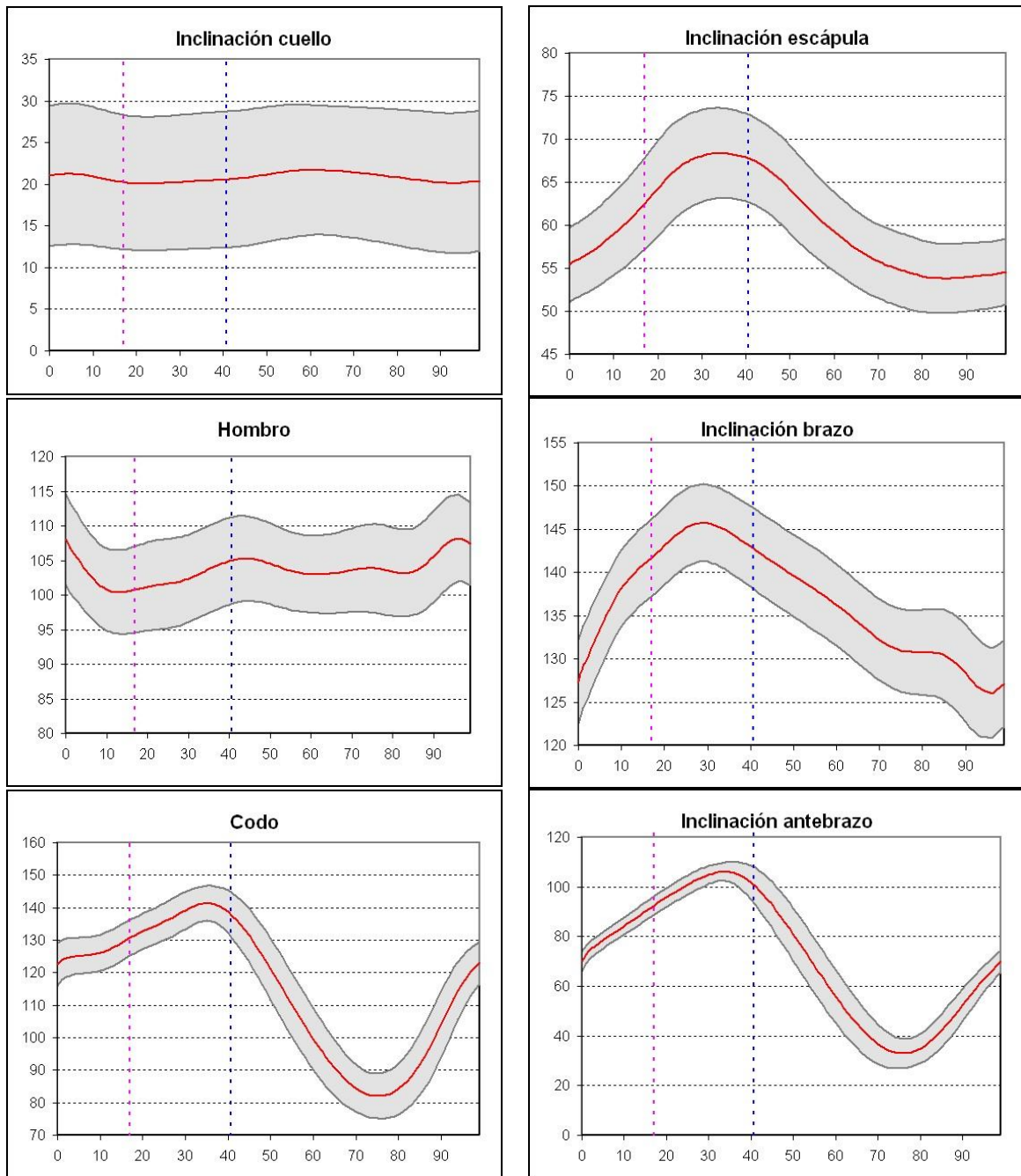
Nota: D. Est. = desviación estandar; Max = valor máximo; Min = valor mínimo; Err. Est. = error estandar; CV e = coef. de variación interindividual; CV i = coef. de variación intraindividual.

Tabla 3.15. Estadísticos básicos de los parámetros biocinem. del ángulo de protracción-retracción del m. torácico en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.

	Media ± D.Est.	Máx	Mín	Err.Est.	C.V.e	C.V.i
Ángulo máximo (°)	100,83 ± 2,99	107,36	94,66	0,17	3,23%	1,57%
Instante del á. máximo (% de tranco)	42,91 ± 3,63	51,00	33,00	0,23	9,94%	5,54%
Ángulo mínimo (°)	64,46 ± 2,36	70,26	59,18	0,14	4,11%	1,70%
Instante del á. mínimo (% de tranco)	88,82 ± 2,72	94,00	78,00	0,19	3,94%	2,67%
Rango Medio de Variación (°)	36,37 ± 2,98	44,41	27,03	0,17	8,89%	4,33%
Ángulo en T=0 (°)	69,95 ± 2,19	76,02	65,71	0,14	3,73%	2,08%
Ángulo al inicio de la elevación (°)	86,28 ± 2,96	93,66	80,70	0,19	4,18%	2,42%
Ángulo en la máxima elevación (°)	83,06 ± 6,80	96,64	67,49	0,42	9,44%	5,26%
Ángulo en el inst. de apoyo medio (°)	83,56 ± 2,69	90,75	77,57	0,16	3,58%	1,53%

Nota: D. Est. = desviación estandar; Max = valor máximo; Min = valor mínimo; Err. Est. = error estandar; CV e = coef. de variación interindividual; CV i = coef. de variación intraindividual.

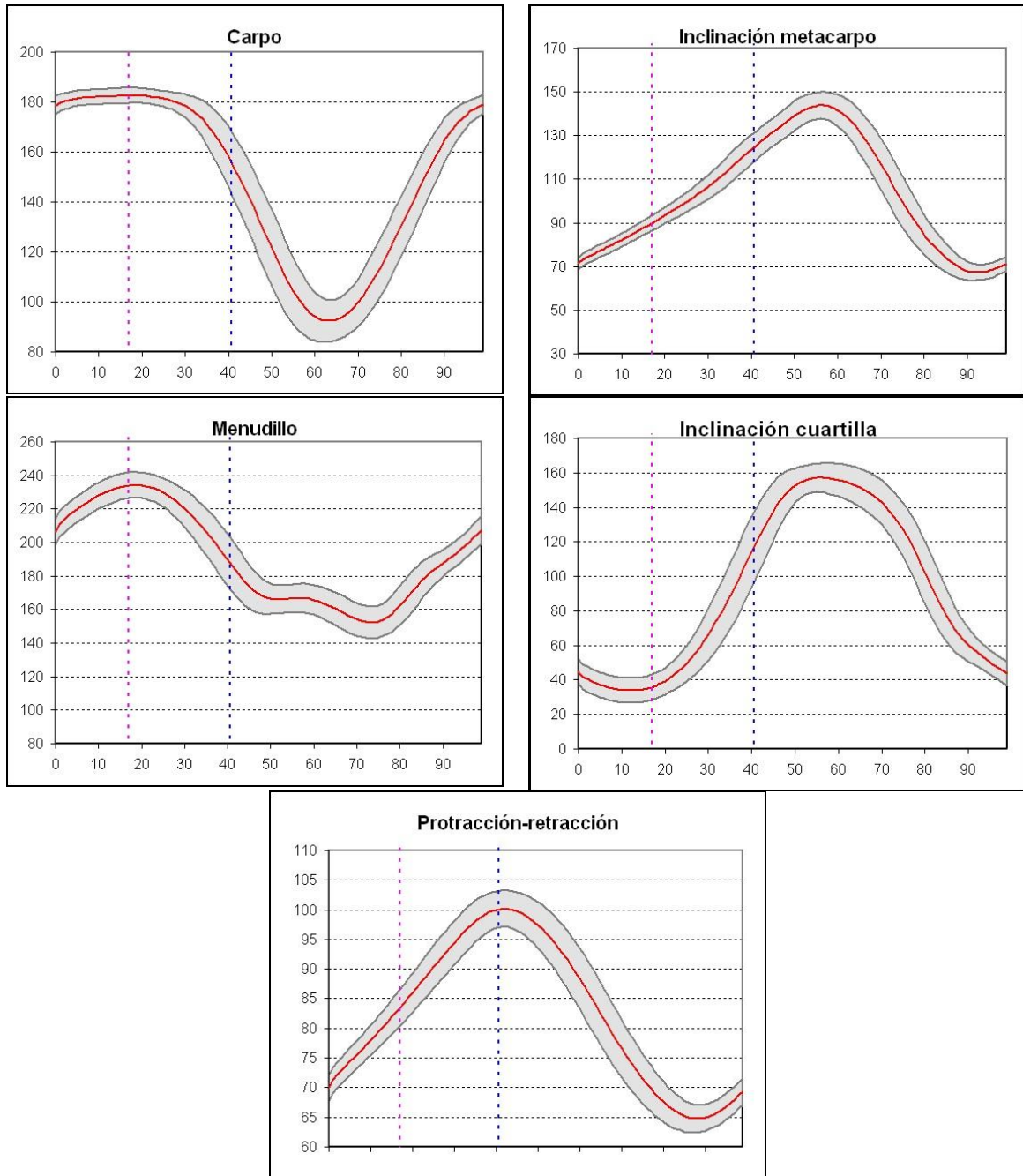
En las figuras 3.4 y 3.5 se presentan los diagramas ángulo-tiempo (media ± desviación estándar) correspondientes a las diferentes articulaciones y segmentos óseos del miembro torácico. Se puede observar un aumento de la desviación estándar en la fase de vuelo, más apreciable en las *articulaciones del carpo y del codo*, en las *inclinaciones del metacarpo y del antebrazo* y en el *ángulo de protracción-retracción*. A cambio, en la *inclinación de la escápula* la desviación estándar aumenta ligeramente durante la fase de apoyo.



Nota: El tiempo (eje de abscisas) se expresa en porcentaje del tranco, mientras que el ángulo (eje de ordenadas) se expresa en grados. La línea rosa indica el instante de apoyo medio, y la línea azul indica la transición de la fase de apoyo a la fase de vuelo.

Figura 3.4. Diagramas ángulo-tiempo (media \pm desviación estándar) de las articulaciones e inclinaciones de los segmentos del miembro torácico: inclinación del cuello, inclinación de la escápula, ángulo del hombro, inclinación del brazo, ángulo del codo y inclinación del antebrazo.

RESULTADOS



Nota: El tiempo (eje de abscisas) se expresa en porcentaje del tranco, mientras que el ángulo (eje de ordenadas) se expresa en grados. La línea rosa indica el instante de apoyo medio, y la línea azul indica la transición de la fase de apoyo a la fase de vuelo.

Figura 3.5. Diagramas ángulo-tiempo (media \pm desviación estándar) de las articulaciones e inclinaciones de los segmentos del miembro torácico: ángulo del carpo, inclinación del metacarpo, ángulo del menudillo, inclinación de la cuartilla y ángulo de protracción-retracción.

En las tablas 3.16 a 3.25 presentamos los estadísticos descriptivos básicos para los parámetros angulares del miembro pelviano, siguiéndose su representación gráfica en las figuras 3.6 y 3.7.

Si observamos los datos referentes a las regiones más proximales del miembro pelviano (tablas 3.16, 3.17 y 3.18), verificamos que las variabilidades son moderadas en la *inclinación de la pelvis*, situándose por debajo del 20%, con excepción de los *instantes de los ángulos máximo y mínimo*, mientras que en las variables de la *articulación de la cadera y inclinación del muslo* los valores de variabilidad son bajos, tanto a nivel individual como entre individuos.

En cuanto a las variables que se refieren a las articulaciones e inclinaciones de segmentos más distales, apreciamos que la variabilidad es en general baja, con excepción de algunas variables que expresan el instante, en porcentaje de tranco, en que ocurre el valor más alto ó más bajo para un determinado ángulo; en concreto, podemos observar el *instante del ángulo máximo de la rodilla*, el *instante del ángulo máximo del tarso* y el *instante del ángulo mínimo de la cuartilla*. Otra variable que presentó una variabilidad moderadamente elevada fue el *ángulo del metatarso en el instante de la máxima elevación de la corona*. En ningún caso se observaron coeficientes de variación intraindividuales superiores a los coeficientes de variación interindividuales.

Tabla 3.16. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo de inclinación de la pelvis en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.

	Media ± D.Est.	Máx	Mín	Err.Est.	C.V.e	C.V.i
Ángulo máximo (°)	28,17 ± 6,06	44,81	16,04	0,33	21,46%	4,21%
Instante del á. máximo (% de tranco)	57,59 ± 46,64	100,00	1,00	2,39	73,36%	66,99%
Ángulo mínimo (°)	21,47 ± 6,04	37,86	9,16	0,32	29,05%	5,91%
Instante del á. mínimo (% de tranco)	35,89 ± 20,02	81,00	9,00	1,14	54,43%	47,23%
Rango Medio de Variación (°)	6,70 ± 1,63	11,79	3,18	0,12	28,26%	19,10%
Ángulo en T=0 (°)	27,24 ± 6,28	42,89	14,75	0,34	23,57%	5,53%
Ángulo al inicio de la elevación (°)	22,65 ± 5,99	37,94	11,08	0,32	26,80%	5,95%
Ángulo en la máxima elevación (°)	23,57 ± 6,07	40,31	10,70	0,34	26,73%	6,06%
Ángulo en el inst. de apoyo medio (°)	22,29 ± 6,04	38,85	10,22	0,33	27,66%	6,59%

Nota: D. Est. = desviación estandar; Max = valor máximo; Min = valor mínimo; Err. Est. = error estandar; CV e = coef. de variación interindividual; CV i = coef. de variación intraindividual.

Tabla 3.17. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo la cadera en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.

	Media ± D.Est.	Máx	Mín	Err.Est.	C.V.e	C.V.i
Ángulo máximo (°)	111,41 ± 12,50	137,14	91,86	0,67	11,22%	1,39%
Instante del á. máximo (% de tranco)	36,72 ± 3,31	46,00	27,00	0,24	9,02%	8,69%
Ángulo mínimo (°)	87,10 ± 10,74	111,55	69,40	0,57	12,33%	1,59%
Instante del á. mínimo (% de tranco)	86,70 ± 3,52	94,00	77,00	0,54	4,06%	6,79%
Rango Medio de Variación (°)	24,31 ± 2,94	31,19	17,20	0,19	12,09%	7,46%
Ángulo en T=0 (°)	93,07 ± 11,04	116,60	77,50	0,59	11,86%	1,96%
Ángulo al inicio de la elevación (°)	111,05 ± 12,55	136,42	90,67	0,67	11,30%	1,49%
Ángulo en la máxima elevación (°)	93,21 ± 13,80	132,03	74,42	0,76	14,81%	3,07%
Ángulo en el inst. de apoyo medio (°)	106,74 ± 12,25	131,54	86,75	0,66	11,47%	1,45%

Nota: D. Est. = desviación estandar; Max = valor máximo; Min = valor mínimo; Err. Est. = error estandar; CV e = coef. de variación interindividual; CV i = coef. de variación intraindividual.

RESULTADOS

Tabla 3.18. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo de inclinación del muslo en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.

	Media ± D.Est.	Máx	Mín	Err.Est.	C.V.e	C.V.i
Ángulo máximo (°)	88,71 ± 9,12	108,50	69,99	0,49	10,28%	2,06%
Instante del á. máximo (% de tranco)	36,80 ± 3,42	50,00	27,00	0,23	9,30%	8,01%
Ángulo mínimo (°)	61,27 ± 7,55	78,12	44,62	0,41	12,32%	2,33%
Instante del á. mínimo (% de tranco)	88,74 ± 9,67	94,00	1,00	0,91	10,90%	11,28%
Rango Medio de Variación (°)	27,44 ± 3,15	35,54	20,89	0,20	11,49%	7,81%
Ángulo en T=0 (°)	65,82 ± 7,57	84,46	50,35	0,41	11,50%	2,83%
Ángulo al inicio de la elevación (°)	88,40 ± 9,18	108,50	67,89	0,50	10,38%	2,12%
Ángulo en la máxima elevación (°)	69,65 ± 11,13	101,76	51,31	0,61	15,99%	4,18%
Ángulo en el inst. de apoyo medio (°)	84,45 ± 8,86	103,19	66,75	0,48	10,49%	1,72%

Nota: D. Est. = desviación estandar; Max = valor máximo; Min = valor mínimo; Err. Est. = error estandar; CV e = coef. de variación interindividual; CV i = coef. de variación intraindividual.

Tabla 3.19. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo de la rodilla en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.

	Media ± D.Est.	Máx	Mín	Err.Est.	C.V.e	C.V.i
Ángulo máximo (°)	158,24 ± 10,22	183,22	136,64	0,55	6,46%	1,46%
Instante del á. máximo (% de tranco)	82,68 ± 32,68	98,00	1,00	1,98	39,52%	45,15%
Ángulo mínimo (°)	110,75 ± 11,28	142,36	90,64	0,62	10,19%	2,74%
Instante del á. mínimo (% de tranco)	65,45 ± 2,49	73,00	60,00	0,19	3,81%	3,44%
Rango Medio de Variación (°)	47,48 ± 4,37	57,68	37,38	0,28	9,20%	6,79%
Ángulo en T=0 (°)	154,59 ± 9,86	180,27	135,30	0,54	6,38%	1,92%
Ángulo al inicio de la elevación (°)	141,87 ± 10,59	168,03	119,92	0,58	7,47%	1,75%
Ángulo en la máxima elevación (°)	123,58 ± 12,15	158,00	97,48	0,71	9,83%	4,03%
Ángulo en el inst. de apoyo medio (°)	141,21 ± 10,28	168,77	123,93	0,57	7,28%	2,07%

Nota: D. Est. = desviación estandar; Max = valor máximo; Min = valor mínimo; Err. Est. = error estandar; CV e = coef. de variación interindividual; CV i = coef. de variación intraindividual.

Tabla 3.20. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo de inclinación de la pierna en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.

	Media ± D.Est.	Máx	Mín	Err.Est.	C.V.e	C.V.i
Ángulo máximo (°)	143,09 ± 5,95	155,67	130,81	0,36	4,16%	2,20%
Instante del á. máximo (% de tranco)	62,90 ± 2,91	70,00	57,00	0,20	4,63%	3,68%
Ángulo mínimo (°)	84,90 ± 4,68	98,67	75,82	0,27	5,51%	2,66%
Instante del á. mínimo (% de tranco)	88,88 ± 22,27	97,00	48,25	1,19	25,06%	16,60%
Rango Medio de Variación (°)	58,18 ± 4,90	71,67	45,86	0,32	8,43%	5,96%
Ángulo en T=0 (°)	91,23 ± 4,44	102,42	81,18	0,28	4,87%	3,44%
Ángulo al inicio de la elevación (°)	126,53 ± 3,72	135,52	118,26	0,23	2,94%	1,60%
Ángulo en la máxima elevación (°)	126,07 ± 8,52	145,32	102,08	0,56	6,76%	4,59%
Ángulo en el inst. de apoyo medio (°)	123,24 ± 4,19	132,28	112,29	0,26	3,40%	2,14%

Nota: D. Est. = desviación estandar; Max = valor máximo; Min = valor mínimo; Err. Est. = error estandar; CV e = coef. de variación interindividual; CV i = coef. de variación intraindividual.

Tabla 3.21. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo del tarso en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.

	Media ± D.Est.	Máx	Mín	Err.Est.	C.V.e	C.V.i
Ángulo máximo (°)	158,07 ± 4,54	170,00	147,42	0,25	2,87%	1,08%
Instante del á. máximo (% de tranco)	38,06 ± 11,84	97,00	1,00	0,92	31,11%	22,93%
Ángulo mínimo (°)	96,21 ± 8,06	115,73	76,48	0,48	8,38%	4,33%
Instante del á. mínimo (% de tranco)	70,00 ± 2,39	76,00	64,00	0,18	3,41%	3,22%
Rango Medio de Variación (°)	61,86 ± 6,78	79,74	45,95	0,42	10,97%	6,35%
Ángulo en T=0 (°)	149,68 ± 4,95	162,74	139,38	0,31	3,30%	2,10%
Ángulo al inicio de la elevación (°)	156,67 ± 4,77	168,74	142,39	0,30	3,05%	1,61%
Ángulo en la máxima elevación (°)	105,82 ± 16,50	155,64	83,05	0,95	15,59%	6,83%
Ángulo en el inst. de apoyo medio (°)	146,73 ± 4,33	158,34	136,19	0,27	2,95%	1,85%

Nota: D. Est. = desviación estandar; Max = valor máximo; Min = valor mínimo; Err. Est. = error estandar; CV e = coef. de variación interindividual; CV i = coef. de variación intraindividual.

Tabla 3.22. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo de inclinación del metatarso en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.

	Media ± D.Est.	Máx	Mín	Err.Est.	C.V.e	C.V.i
Ángulo máximo (°)	104,16 ± 4,15	116,82	93,01	0,24	3,98%	1,91%
Instante del á. máximo (% de tranco)	37,85 ± 3,68	49,00	29,00	0,23	9,73%	6,54%
Ángulo mínimo (°)	42,02 ± 4,22	53,47	34,57	0,25	10,05%	5,39%
Instante del á. mínimo (% de tranco)	80,58 ± 2,54	86,00	75,00	0,19	3,16%	3,35%
Rango Medio de Variación (°)	62,14 ± 5,50	77,05	51,27	0,34	8,85%	5,01%
Ángulo en T=0 (°)	60,91 ± 3,52	69,44	50,32	0,22	5,78%	3,55%
Ángulo al inicio de la elevación (°)	103,20 ± 4,09	116,39	91,12	0,26	3,97%	2,44%
Ángulo en la máxima elevación (°)	51,89 ± 18,00	106,19	35,58	1,01	34,69%	13,43%
Ángulo en el inst. de apoyo medio (°)	89,97 ± 0,58	91,01	88,05	0,05	0,64%	0,63%

Nota: D. Est. = desviación estandar; Max = valor máximo; Min = valor mínimo; Err. Est. = error estandar; CV e = coef. de variación interindividual; CV i = coef. de variación intraindividual.

Tabla 3.23. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo del menudillo pelviano en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.

	Media ± D.Est.	Máx	Mín	Err.Est.	C.V.e	C.V.i
Ángulo máximo (°)	227,28 ± 7,07	246,34	213,97	0,42	3,11%	1,56%
Instante del á. máximo (% de tranco)	18,73 ± 3,81	29,00	12,00	0,26	20,33%	19,77%
Ángulo mínimo (°)	124,05 ± 10,25	152,71	101,20	0,59	8,26%	3,79%
Instante del á. mínimo (% de tranco)	56,22 ± 6,08	74,00	47,00	0,33	10,81%	6,73%
Rango Medio de Variación (°)	103,23 ± 11,05	133,84	73,83	0,65	10,71%	5,73%
Ángulo en T=0 (°)	197,67 ± 6,82	214,85	179,63	0,47	3,45%	2,85%
Ángulo al inicio de la elevación (°)	184,63 ± 14,51	223,59	149,21	0,86	7,86%	4,36%
Ángulo en la máxima elevación (°)	143,54 ± 12,25	164,22	101,39	0,79	8,54%	5,89%
Ángulo en el inst. de apoyo medio (°)	222,18 ± 9,45	243,94	193,86	0,56	4,25%	2,15%

Nota: D. Est. = desviación estandar; Max = valor máximo; Min = valor mínimo; Err. Est. = error estandar; CV e = coef. de variación interindividual; CV i = coef. de variación intraindividual.

Tabla 3.24. Estadísticos básicos de los parámetros biocinemáticos del ángulo de inclinación de la cuartilla pelviana en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.

	Media ± D.Est.	Máx	Mín	Err.Est.	C.V.e	C.V.i
Ángulo máximo (°)	144,43 ± 9,83	168,47	112,82	0,54	6,81%	2,98%
Instante del á. máximo (% de tranco)	51,39 ± 3,65	62,00	44,00	0,24	7,10%	4,75%
Ángulo mínimo (°)	29,49 ± 5,92	46,04	14,06	0,36	20,08%	12,45%
Instante del á. mínimo (% de tranco)	13,60 ± 13,46	56,5	6,25	0,94	98,98%	39,16%
Rango Medio de Variación (°)	114,94 ± 10,96	148,06	78,05	0,63	9,54%	4,95%
Ángulo en T=0 (°)	43,25 ± 5,17	61,31	27,56	0,36	11,95%	10,54%
Ángulo al inicio de la elevación (°)	98,57 ± 13,49	131,93	62,00	0,81	13,69%	8,13%
Ángulo en la máxima elevación (°)	88,34 ± 26,79	167,02	62,65	1,56	30,32%	13,95%
Ángulo en el inst. de apoyo medio (°)	47,79 ± 9,42	76,05	26,45	0,56	19,71%	10,40%

Nota: D. Est. = desviación estandar; Max = valor máximo; Min = valor mínimo; Err. Est. = error estandar; CV e = coef. de variación interindividual; CV i = coef. de variación intraindividual.

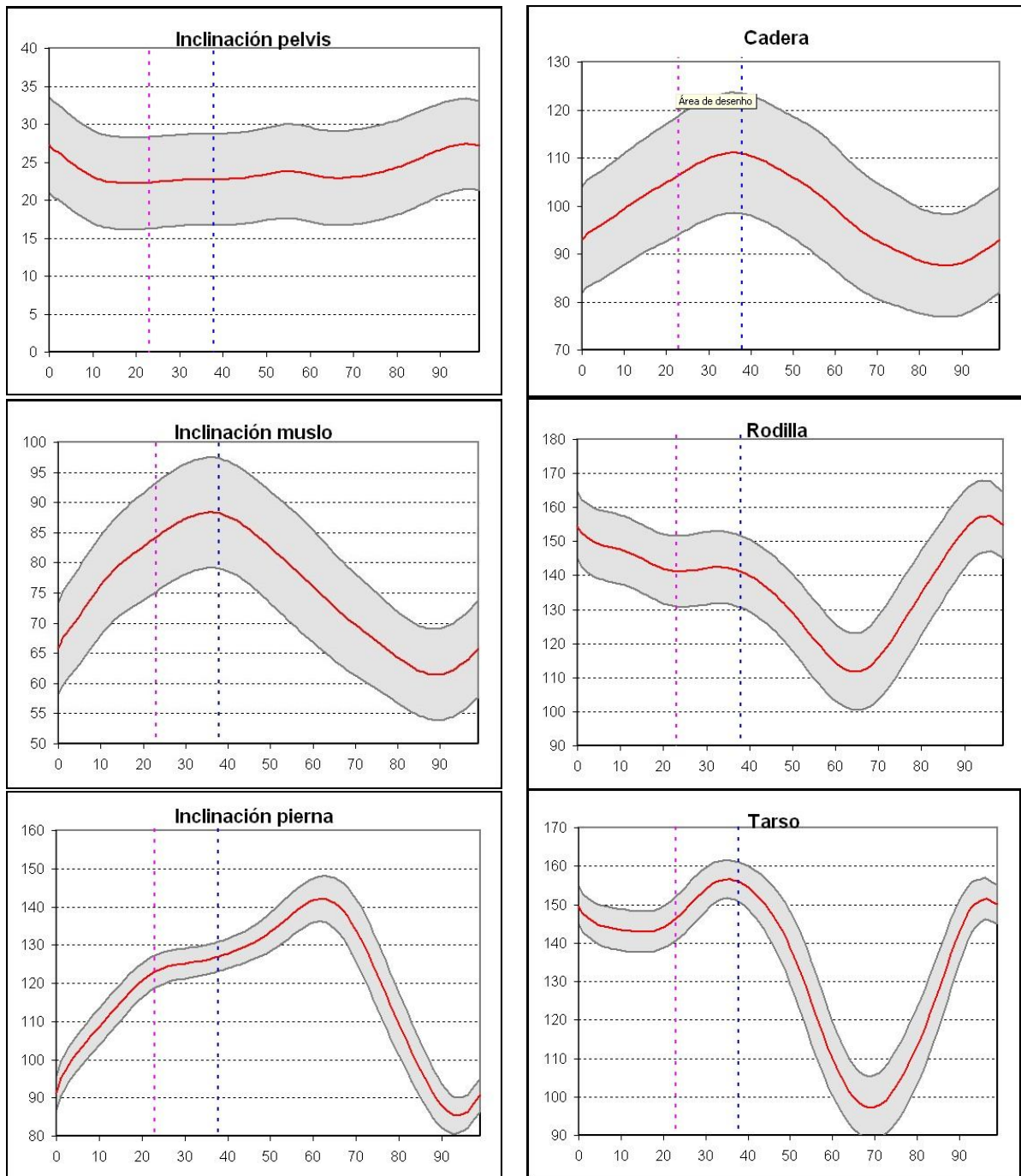
Tabla 3.25. Estadísticos básicos de los parámetros biocinem. del ángulo de protracción-retracción del m. pelviano en un grupo de caballos Pura Sangre Lusitano (n=88) al trote guiado de la mano.

	Media ± D.Est.	Máx	Mín	Err.Est.	C.V.e	C.V.i
Ángulo máximo (°)	109,27 ± 3,70	119,06	101,83	0,21	3,38%	1,50%
Instante del á. máximo (% de tranco)	45,20 ± 3,41	56,00	32,00	0,22	7,54%	5,72%
Ángulo mínimo (°)	67,28 ± 2,66	74,14	60,62	0,16	3,96%	1,97%
Instante del á. mínimo (% de tranco)	89,78 ± 1,90	94,00	85,00	0,63	2,12%	6,58%
Rango Medio de Variación (°)	41,99 ± 2,90	50,06	34,90	0,19	6,90%	5,08%
Ángulo en T=0 (°)	71,85 ± 2,71	78,81	64,46	0,16	3,77%	2,18%
Ángulo al inicio de la elevación (°)	106,96 ± 3,61	115,18	99,63	0,22	3,38%	1,61%
Ángulo en la máxima elevación (°)	81,56 ± 12,68	118,58	66,49	0,72	15,55%	6,71%
Ángulo en el inst. de apoyo medio (°)	96,05 ± 3,53	103,96	86,14	0,19	3,68%	1,10%

Nota: D. Est. = desviación estandar; Max = valor máximo; Min = valor mínimo; Err. Est. = error estandar; CV e = coef. de variación interindividual; CV i = coef. de variación intraindividual.

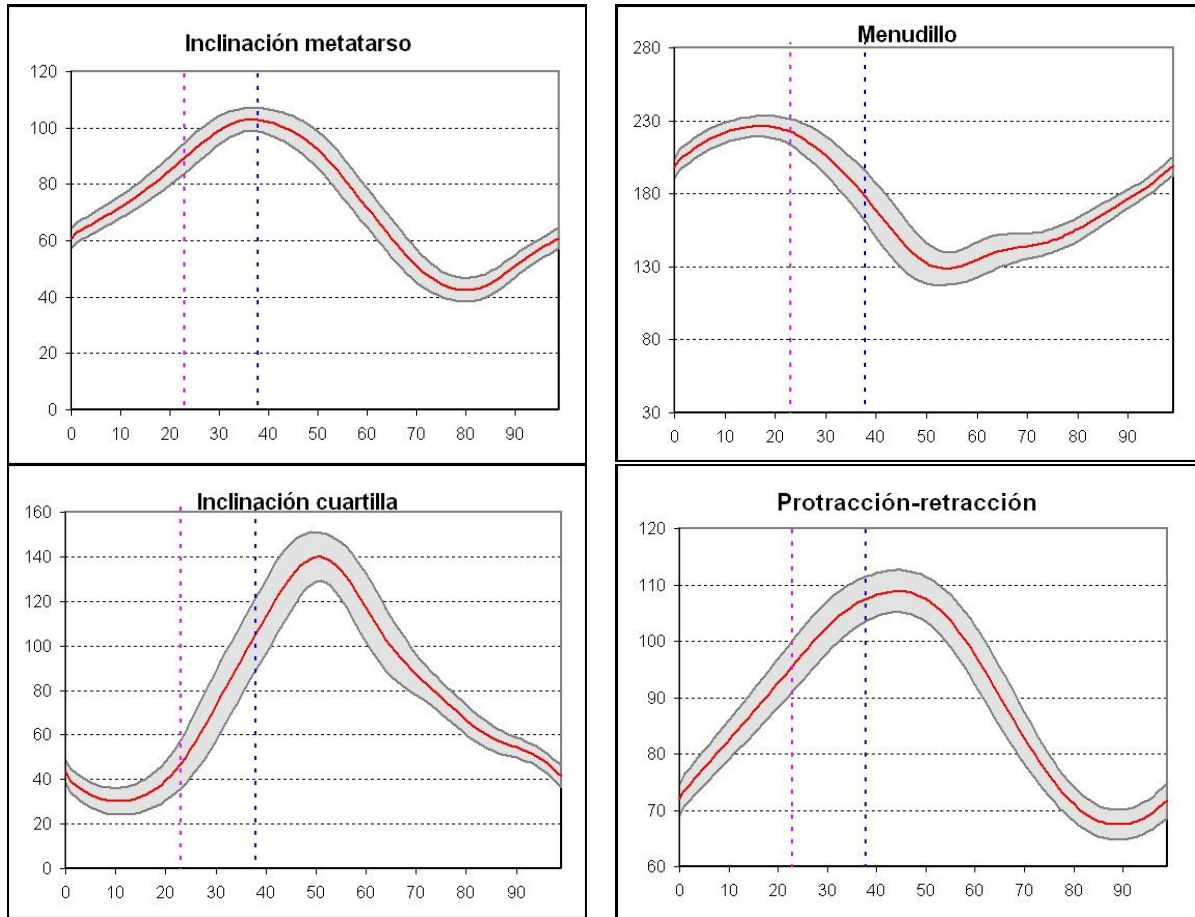
Tal como se verifica en las variables del miembro torácico, los coeficientes de variación intraindividuales (con excepción de las variables ya referidas) han sido casi siempre inferiores al 10%, y frecuentemente inferiores al 5%.

Los diagramas ángulo-tiempo, referentes a las articulaciones e inclinaciones de segmentos corporales del miembro pelviano, se presentan en las figuras 3.6 y 3.7. También en el caso del miembro pelviano verificamos un aumento de la desviación estándar durante la fase de vuelo, más visible en las variables de las *articulaciones del tarso y del menudillo*, en la *inclinación de la cuartilla* y en el *ángulo de protracción-retracción*.



Nota: El tiempo (eje de abscisas) se expresa en porcentaje del tranco, mientras que el ángulo (eje de ordenadas) se expresa en grados. La línea rosa indica el instante de apoyo medio, y la línea azul indica la transición de la fase de apoyo a la fase de vuelo.

Figura 3.6. Diagramas ángulo-tiempo (media \pm desviación estándar) de las articulaciones e inclinaciones de los segmentos del miembro pelviano: inclinación de la pelvis, ángulo de la cadera, inclinación del muslo, ángulo de la rodilla, inclinación de la pierna y ángulo del tarso.



Nota: El tiempo (eje de abscisas) se expresa en porcentaje del tranco, mientras que el ángulo (eje de ordenadas) se expresa en grados. La línea rosa indica el instante de apoyo medio, y la línea azul indica la transición de la fase de apoyo a la fase de vuelo.

Figura 3.7. Diagramas ángulo-tiempo (media \pm desviación estándar) de las articulaciones e inclinaciones de los segmentos del miembro pelviano: inclinación del metatarso, ángulo del menudillo, inclinación de la cuartilla y ángulo de protracción-retracción.

3. FACTORES DE INFLUENCIA SOBRE LAS VARIABLES MORFOMÉTRICAS Y BIOCINEMÁTICAS ANALIZADAS

Los resultados del modelo mixto para la determinación del nivel de significación de los distintos factores que se incluirán posteriormente en los modelos para la estimación de los parámetros genéticos se presentan en las tablas 3.26 y 3.27.

En cuanto a las variables morfométricas, verificamos que la *explotación de procedencia* fue el factor que tuvo influencia sobre el mayor número de variables (12 de 25). El *coeficiente de consanguinidad* se ha mostrado como factor significativo solamente para la *longitud de la cuartilla torácica*, mientras que la *edad* no ha tenido valores de F significativos sobre el conjunto de variables analizadas.

Tabla 3.26. Resultados del modelo mixto – valores del estadístico F y su significación, para variables morfométricas analizadas en el caballo Lusitano.

VARIABLES MORFOMÉTRICAS	CONSANGUINIDAD	EXPLOTACIÓN	EDAD
Longitud de la espalda	0,65	1,96	0,04
Longitud del brazo	3,04	2,32	0,00
Longitud del antebrazo	0,00	2,55*	1,89
Longitud de la caña torácica	0,03	4,38**	3,35
Longitud de la cuartilla torácica	5,18*	1,93	0,37
Alzada a la cruz	0,00	6,98***	0,93
Inclinación de la espalda	0,15	2,69*	1,56
Inclinación del brazo	0,36	0,76	0,00
Inclinación del antebrazo	1,00	0,55	0,23
Inclinación del metacarpo	0,06	1,05	0,26
Inclinación de la cuartilla torácica	0,55	1,06	2,16
Longitud de la grupa	0,62	10,13***	0,05
Longitud del muslo	0,01	3,78**	1,97
Longitud de la pierna	0,76	1,13	2,61
Longitud de la caña pelviana	0,36	2,48*	0,26
Longitud de la cuartilla pelviana	0,54	1,47	1,04
Distancia entre la cruz y el coxal	0,63	7,28***	3,88
Distancia entre el hombro y la cadera	0,02	6,67***	0,86
Alzada al coxal	0,21	3,60**	0,40
Inclinación de la grupa	0,36	5,48**	3,61
Inclinación del muslo	0,06	11,12***	1,29
Inclinación de la pierna	0,16	1,70	1,75
Inclinación del metatarso	0,43	0,93	0,23
Inclinación de la cuartilla pelviana	0,67	2,01	1,32

Nota: * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; los demás valores son no significativos.

En lo que respecta a las variables biocinemáticas, la *velocidad* es el factor con mayor influencia, obteniéndose valores de F significativos para 12 de las 21 variables; la *explotación de procedencia* ejerció influencia sobre ocho variables, el *coeficiente de consanguinidad* sobre tres variables, el *tipo de pista* sobre dos y la *edad* sobre una.

RESULTADOS

Tabla 3.27. Resultados del modelo mixto – valores del estadístico F y su significación, para las variables biocinemáticas analizadas en el caballo Lusitano.

VARIABLES BIOCINEMÁTICAS	Consang.	Explot.	Edad	Velocidad	Pista
Amplitud del tranco del miembro torácico	2,31	1,55	0,01	133,89***	0,16
Rango de variación de la articulación del hombro	1,74	0,84	0,41	5,11*	0,00
Rango de variación de la articulación del codo	0,61	1,87	0,31	2,79	0,29
Rango de variación de la articulación del carpo	4,96*	1,34	0,79	2,62	0,48
Rango de variación de la art. del menudillo tor.	0,13	0,81	0,08	0,18	0,92
Áng. Máx. de protrac-retracción en el miemb.tor.	0,13	4,47**	0,02	13,17**	0,34
Áng. Mín. de protrac-retracción en el miemb.tor.	2,30	3,85*	2,48	6,55*	1,21
Duración de la fase de apoyo del miemb.tor.	1,02	1,20	1,03	59,57***	0,00
Duración de la fase de vuelo del miemb.tor.	0,96	2,99*	0,80	0,46	4,45*
Máxima elevación de la corona torácica	1,49	2,79*	0,00	4,93*	1,12
Amplitud del tranco del miembro pelviano	1,60	1,34	0,02	134,35***	0,96
Distancia de sobrehuella	0,00	1,26	1,21	59,02***	0,41
Rango de variación de la articulación de la cadera	0,30	2,09	2,92	15,50**	0,00
Rango de variación de la articulación de la rodilla	1,18	0,99	4,97*	3,18	0,53
Rango de variación de la articulación del tarso	1,31	2,89**	1,50	14,17*	3,88
Rango de variación de la art. del menudillo pel.	0,42	1,32	1,93	0,54	0,05
Áng. Máx. de protrac-retracción en el miemb.pel.	2,90	6,97***	0,32	55,44***	1,42
Áng. Mín. de protrac-retracción en el miemb.pel.	4,89*	9,47***	0,00	0,16	0,02
Duración de la fase de apoyo del miemb.pel.	1,25	1,44	1,84	61,63***	0,00
Duración de la fase de vuelo del miemb.pel.	4,65*	2,12	1,00	1,69	0,26
Máxima elevación de la corona pelviana	3,29	6,76***	3,06	0,17	8,76**

Nota: * = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p<0,001; los demás valores son no significativos.

Como se puede observar en la tabla 3.28, la regresión con la velocidad no ha sido significativa para las variables *rango de variación del hombro* y *máxima elevación de la corona torácica*. Por otro lado, la relación lineal entre la velocidad y las variables lineales explica más del 80,0% (para las *amplitudes de tranco*) y el 52,2% (para la *longitud de sobrehuella*) de la variación observada. Las representaciones gráficas de las regresiones lineales se presentan en el anexo 2.

Tabla 3.28. Ecuación de regresión lineal entre la velocidad y las variables biocinemáticas analizadas en el caballo Lusitano.

VARIABLE BIOCINEMÁTICA	COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN	ECUACIÓN DE REGRESIÓN	SIGNIFICACIÓN
Ampl. Tranco Tor.	0,833	AmpT = 38,088 + 58,847 * Velocidad	***
RVA Hombro	0,016	RVHo = 7,6642 + 0,73897 * Velocidad	n.s.
Áng. Máx. Prot.-Retr. Tor.	0,190	MPRT = 90,748 + 3,2662 * Velocidad	***
Áng. Mín. Prot.-Retr. Tor.	0,083	mPRT = 69,735 - 1,707 * Velocidad	**
Dur. Apoyo Tor.	0,480	DApT = 0,51141 - 0,0642 * Velocidad	***
Max. Elev. Corona Tor.	0,012	MElevT = 23,693 + 1,1994 * Velocidad	n.s.
Ampl. Tranco Pel.	0,841	AmpP = 25,011 + 63,904 * Velocidad	***
Dist. Sobrehuella	0,522	DSobr = -61,70 + 16,479 * Velocidad	***
RVA Cadera	0,231	RVcd = 13,395 + 3,5360 * Velocidad	***
RVA Tarso	0,116	RVTa = 43,982 + 5,7884 * Velocidad	**
Áng. Máx. Prot.-Retr. Pel.	0,453	MPRP = 90,036 + 6,2299 * Velocidad	***
Dur. Apoyo Pel.	0,403	DApP = 0,46827 - 0,0601 * Velocidad	***

Nota: * = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p<0,001; n.s. = valores no significativos.

4. INTERRELACIONES ENTRE LAS VARIABLES MORFOMÉTRICAS Y BIOCINEMÁTICAS ANALIZADAS

En el estudio de las interrelaciones existentes entre las variables analizadas en la raza Lusitana, se obtuvieron las matrices de correlación de Pearson, para posteriormente realizar un estudio conjunto mediante un análisis multivariante. Se optó por considerar en las variables morfométricas las inclinaciones de los segmentos óseos, y no los ángulos articulares por ellos definidos, debido a las elevadas correlaciones encontradas entre ellos (anexo 3). Aun así, como distintos autores han publicado las correlaciones entre estos ángulos y las medidas biocinemáticas, la tabla de correlaciones de Pearson se presenta en el anexo 4.

4.1. ESTIMACIÓN DE LA CORRELACIONES DE PEARSON ENTRE LAS DIFERENTES VARIABLES ANALIZADAS

Se han obtenido las matrices de correlación de Pearson entre el conjunto de variables morfométricas y biocinemáticas analizadas. Los valores del coeficiente de correlación r , y su nivel de significación estadística, se presentan en las tablas 3.28, 3.29 y 3.30.

Dentro el conjunto de variables morfométricas (tabla 3.29), las que presentaron un número más elevado de correlaciones significativas han sido la *alzada al coxal*, la *longitud de tronco*, la *alzada a la cruz*, la *longitud del dorso* y la *longitud del muslo*. En cuanto a las variables biocinemáticas (tabla 3.30), todas ellas establecieron correlaciones estadísticamente significativas con las demás, con excepción del *rango de variación angular del hombro*. Finalmente, en lo que se refiere a las correlaciones fenotípicas establecidas entre los dos grupos de variables (tabla 3.31), las variables morfométricas que más se han correlacionado significativamente con variables biocinemáticas han sido la *inclinación del muslo*, la *inclinación de la espalda*, la *longitud de la grupa* y la *longitud del tronco*.

Según la clasificación de Santos (2007), en cuanto a la intensidad de la correlación, de entre las variables morfométricas, sólo nueve se consideran moderadas (valor absoluto de $r > 0,50$), siendo todas las demás débiles. De entre las variables biocinemáticas, se encuentran dos valores de correlación fuerte (valor absoluto de $r > 0,80$): entre la *amplitud de tranco torácico* y *amplitud de tranco pelviano* (0,99), y entre *amplitud de tranco torácico* y *distancia de sobrehuella* (0,82). Además se observan 21 correlaciones moderadas.

Entre los dos grupos de variables, se establecieron diez correlaciones de intensidad moderada. El resto de correlaciones significativas tuvieron un valor absoluto inferior al 0,50. Las correlaciones con mayor valor absoluto se han establecido entre los *ángulos (máximo y mínimo)* de *protracción-retracción del miembro pelviano* y la *longitud de la grupa* (correlaciones negativas) y la *inclinación del muslo* (correlaciones positivas).

RESULTADOS

Tabla 3.29. Correlaciones de Pearson entre las variables morfométricas.

	LEsp	LBz	Labz	LCaT	LCuT	AlzCz	IEsp	IBz	Iabz	ICaT	ICuT	IGrp	LMus	LPie	LCaP	LCuP	LDor	LTrc	AlzCx	IGrp	IMus	IPie	ICaP	ICuP	
LEsp	1,00																								
LBz	0,14	1,00																							
Labz	0,00	-0,31	1,00																						
LCaT	-0,03	0,08	0,34	1,00																					
LCuT	0,19	0,13	0,20	-0,03	1,00																				
AlzCz	0,14	0,30	0,31	0,34	0,36	1,00																			
IEsp	-0,15	-0,31	0,23	0,20	-0,06	0,04	1,00																		
IBz	0,35	0,10	0,01	0,01	-0,03	-0,15	0,16	1,00																	
Iabz	-0,04	0,00	0,12	-0,13	-0,04	-0,05	0,03	0,20	1,00																
ICaT	-0,12	-0,01	-0,01	-0,07	0,13	0,16	0,10	-0,20	0,19	1,00															
ICuT	-0,10	0,11	0,12	-0,21	-0,02	0,20	0,07	0,12	0,27	-0,02	1,00														
IGrp	0,11	0,03	0,12	-0,11	0,06	0,19	-0,33	-0,14	0,01	-0,12	-0,10	1,00													
LMus	0,15	0,25	0,25	0,19	0,31	0,33	0,06	-0,07	-0,11	0,02	0,04	-0,09	1,00												
LPie	-0,05	-0,09	0,25	0,29	0,03	0,25	-0,04	-0,10	0,13	0,00	0,13	0,26	-0,26	1,00											
LCaP	-0,10	0,08	0,35	0,59	0,03	0,37	0,23	-0,01	-0,07	0,11	-0,07	0,20	0,20	0,20	1,00										
LCuP	0,14	0,06	0,16	-0,07	0,58	0,37	-0,05	0,01	-0,05	0,07	0,06	0,06	0,20	0,17	1,00										
LDor	0,05	0,17	0,22	0,32	0,24	0,55	0,48	0,09	-0,18	0,13	-0,31	0,21	0,21	0,31	0,18	1,00									
LTrc	0,31	0,32	0,03	0,04	0,36	0,55	-0,40	0,00	-0,10	0,02	0,65	0,21	0,21	0,20	0,23	0,20	1,00								
AlzCx	0,13	0,27	0,34	0,38	0,26	0,76	0,05	-0,16	-0,03	0,04	0,15	0,38	0,43	0,43	0,25	0,38	0,38	1,00							
IGrp	-0,04	-0,08	0,17	0,19	-0,19	-0,15	0,19	-0,01	-0,06	-0,12	-0,32	0,01	0,18	-0,01	0,13	0,01	0,02	0,13	1,00						
IMus	-0,07	0,12	0,16	0,11	-0,04	-0,06	0,35	0,09	0,08	0,21	-0,73	0,33	0,41	0,14	0,03	0,22	0,33	0,33	0,33	1,00					
IPie	0,09	-0,01	-0,02	0,08	0,08	-0,02	-0,06	-0,14	-0,13	-0,28	0,13	0,25	0,25	0,14	0,00	-0,07	0,11	0,11	0,11	0,11	1,00				
ICaP	-0,16	-0,24	-0,03	0,02	-0,05	-0,10	0,20	0,02	0,30	-0,05	-0,15	-0,15	-0,15	-0,13	-0,03	-0,09	-0,26	-0,26	-0,26	-0,26	-0,26	1,00			
ICuP	-0,02	0,07	0,08	0,01	0,14	0,09	0,00	0,02	-0,02	0,31	0,11	0,07	0,07	0,13	-0,06	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	1,00		

Nota: en las líneas sombreadas, el significado estadístico de r; * = p<0,05; ** = p>0,01; *** = p<0,001.

RESULTADOS

Tabla 3.31. Correlaciones de Pearson entre las variables morfométricas y biocinemáticas.

	LEsp	LBz	Labz	LCat	LCuT	ALCz	IEsp	IBz	Labz	ICat	ICuT	LGrp	LMus	LPe	LCap	LCuP	LDor	LTrc	ALCcx	IGrp	IMus	IPe	ICap	ICuP
AmpT	-0,06	0,10	0,28	0,28	0,17	0,12	0,47	0,09	0,08	0,20	-0,06	-0,31	0,41	-0,04	0,14	0,21	0,39	-0,15	0,19	0,12	0,51	0,13	0,08	0,01
			**	**			***					**	***			*	***				***			
RVHo	0,06	0,08	-0,21	-0,20	0,02	-0,02	0,01	-0,15	0,14	0,18	0,15	0,00	0,07	-0,14	-0,15	0,07	-0,13	-0,10	-0,09	-0,12	-0,02	-0,04	0,16	-0,10
			*																					
RVCo	-0,01	0,31	-0,21	0,00	0,04	0,02	-0,01	0,02	0,13	0,11	-0,20	0,09	0,04	0,03	-0,03	0,08	-0,06	0,09	-0,03	0,03	0,01	0,21	0,16	-0,23
	**																				*			*
RVCa	0,11	0,31	-0,21	0,03	0,11	-0,18	0,00	0,11	0,12	0,08	-0,30	-0,14	-0,01	-0,08	-0,20	0,17	-0,11	-0,11	-0,10	0,20	0,18	0,14	0,17	-0,16
	**										**													
RVMeT	0,04	-0,07	-0,02	0,06	0,02	-0,18	-0,03	-0,01	0,07	0,02	-0,47	-0,01	-0,14	0,13	0,05	0,13	-0,18	-0,10	-0,09	0,24	-0,11	0,16	0,16	-0,25
											***									***				***
MPRT	-0,11	-0,15	0,08	0,05	-0,02	0,05	0,63	0,33	-0,09	0,04	0,11	-0,29	-0,01	0,01	0,10	-0,04	0,55	-0,26	0,07	0,07	0,25	-0,06	0,04	0,03
							***	**				**					***	**			**			
mpRT	0,03	-0,11	-0,10	-0,12	-0,07	0,17	0,18	0,03	-0,15	-0,10	0,32	0,03	-0,21	0,02	0,01	-0,11	0,31	0,01	0,03	-0,05	-0,15	-0,18	0,04	0,15
										**	**		*				**			**				
DapT	0,07	-0,02	-0,09	-0,04	-0,05	0,17	-0,24	0,06	-0,20	0,00	-0,05	0,19	-0,15	0,15	0,12	-0,08	-0,08	0,26	0,13	-0,09	-0,32	-0,04	-0,01	-0,06
							*											**		**				
DVuT	-0,12	0,12	0,12	0,02	-0,01	-0,09	0,13	-0,01	0,17	0,01	0,10	-0,12	0,19	-0,17	-0,03	0,08	-0,05	-0,12	0,02	0,13	0,35	-0,02	0,01	0,15

MElevT	-0,06	0,23	-0,10	-0,01	0,20	0,35	-0,18	-0,15	0,03	0,09	-0,07	0,26	-0,08	0,18	-0,10	0,28	-0,03	0,30	0,19	-0,14	-0,23	0,08	0,11	-0,14
	*					***						**	***			**		**		**				
AmpP	-0,08	0,10	0,29	0,29	0,18	0,17	0,48	0,07	0,08	0,18	-0,03	-0,27	0,41	-0,02	0,14	0,21	0,41	-0,12	0,19	0,09	0,48	0,14	0,06	-0,01
		**	**	**			***					***	***				***			***	***			
DSobr	-0,17	-0,06	0,21	0,18	-0,04	-0,18	0,36	0,12	0,12	0,08	-0,11	-0,29	0,20	-0,09	0,07	0,03	0,07	-0,38	-0,04	0,27	0,46	0,12	0,21	0,09
			*				***				**	**						***	**	**	***			
RVcd	-0,15	0,11	-0,01	0,07	-0,04	-0,09	0,31	0,07	0,09	-0,05	0,06	-0,41	0,14	-0,45	0,00	0,04	0,08	-0,45	-0,16	0,30	0,66	0,06	0,11	-0,03
							**					***		***				***		**	***			
RVRo	0,05	-0,06	0,03	-0,10	0,20	-0,10	0,06	0,08	0,08	0,07	-0,28	0,06	0,10	0,10	-0,16	0,01	0,03	0,10	-0,17	-0,19	-0,09	0,28	0,01	-0,08
										**	**									**	**			
RVta	-0,07	0,02	-0,16	-0,04	0,01	-0,18	0,04	0,03	0,06	-0,07	-0,26	-0,03	0,04	-0,05	-0,21	0,08	-0,05	-0,14	-0,30	-0,07	-0,02	0,38	0,03	-0,33
										**	**								**		**	**		**
RVMeP	0,03	-0,12	-0,05	-0,07	0,01	-0,17	-0,05	-0,08	0,02	0,14	-0,25	-0,06	0,02	0,11	-0,01	0,04	-0,18	-0,12	-0,09	0,03	0,03	0,04	0,05	-0,37
										**	**													**
MPRP	-0,16	-0,03	0,17	0,20	-0,04	-0,03	0,50	0,09	0,13	0,19	0,06	-0,66	0,14	-0,10	0,11	0,12	0,32	-0,54	-0,02	0,36	0,72	0,04	0,15	-0,11
							***					***					**	***		***	***			
mpRRP	-0,05	-0,03	0,16	0,20	-0,10	-0,06	0,41	0,12	0,04	0,03	0,19	-0,69	0,20	-0,08	0,21	-0,03	0,22	-0,55	0,16	0,33	0,71	-0,09	0,07	0,12
							***					***					*	***		**	***			
DApp	0,01	0,01	-0,03	-0,02	-0,17	0,14	-0,41	-0,17	-0,17	-0,05	-0,09	0,17	-0,21	0,17	0,03	-0,06	-0,17	0,21	0,06	0,03	-0,30	0,01	-0,14	-0,15
							***					***	*				*	*	*	**	***			
DVuP	0,02	0,09	0,10	0,03	0,08	-0,13	0,31	0,17	0,17	0,04	0,08	-0,12	0,22	-0,19	0,04	-0,02	0,06	-0,12	0,06	0,12	0,34	-0,02	0,08	0,20
							**					*						*	*	**	**			
MElevP	-0,21	0,17	-0,21	-0,06	0,04	0,31	-0,25	-0,05	0,03	0,05	-0,01	0,25	-0,12	0,26	-0,05	0,03	0,01	0,30	0,13	-0,33	-0,34	0,12	-0,06	-0,17
	*					**	**				**	**	*	**				**		**	**	**		

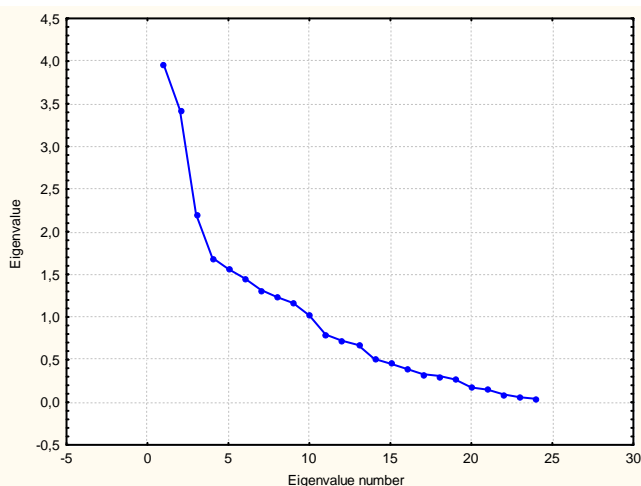
Nota: en las líneas sombreadas, el significado estadístico de r; * = p<0,05; ** = p>0,01; *** = p>0,001.

4.2. ANÁLISIS MULTIVARIADO DE INTERRELACIONES ENTRE LAS VARIABLES ANALIZADAS

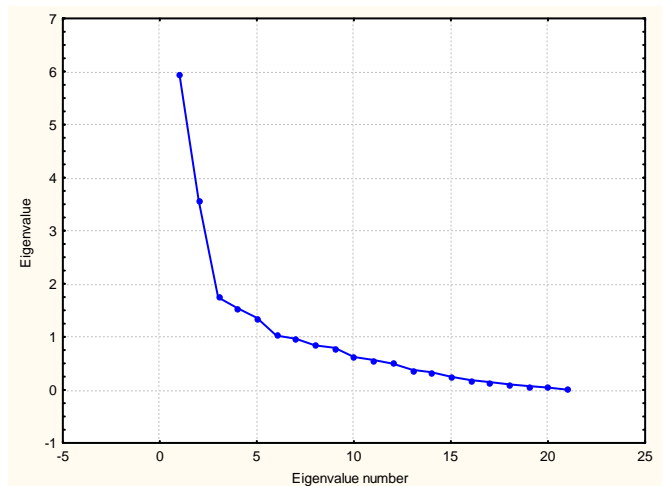
Hemos utilizado el análisis de componentes principales para determinar si existe algún tipo de criterio de agrupamiento de las variables en estudio que explicara un porcentaje significativo de la varianza observada. Los resultados del análisis se presentan en las figuras 3.9 y 3.10.

Para las variables morfométricas, el análisis reveló la presencia de 10 factores con Eigenvalues significativos (superiores a 1), explicando el 79,32% de la varianza (figura 3.9 a). Observamos que los dos primeros factores explican alrededor del 31% de la varianza (fig. 3.10.a). En el primer factor, las variables con un peso superior han sido las *alzadas a la cruz y al coxal*, seguidas de la *longitud de tronco*, la *longitud de dorso*, la *longitud de la cuartilla torácica* y la *longitud del muslo*. Para el segundo factor, las variables con mayor influencia han sido la *longitud de la grupa*, la *inclinación del muslo*, la *inclinación de la espalda* y la *longitud del tronco*.

En cuanto a las variables biocinémáticas, los 6 primeros factores han tenido Eigenvalues superiores a 1, explicando el 72,39% de la varianza (figura 3.9 b). Los dos primeros factores explican el 45% de la varianza (fig. 3.10.b). Las variables con más influencia sobre el factor 1 han sido *las amplitudes de tranco torácico y pelviano*, la *distancia de sobrehuella* e el *ángulo máximo de protracción-retracción del miembro pelviano*, mientras que las que más ha pesado sobre el factor 2 han sido los *rangos de variación angular del codo, del carpo y del tarso* y el *ángulo mínimo de protracción-retracción del miembro torácico*.



a) Eigenvalues para los factores de las variables morfométricas



b) Eigenvalues para los factores de las variables biocinémáticas

Figura 3.9. Screeplots para los valores propios de los componentes para las variables morfométricas (a) y biocinémáticas (b) en la raza Lusitana

RESULTADOS

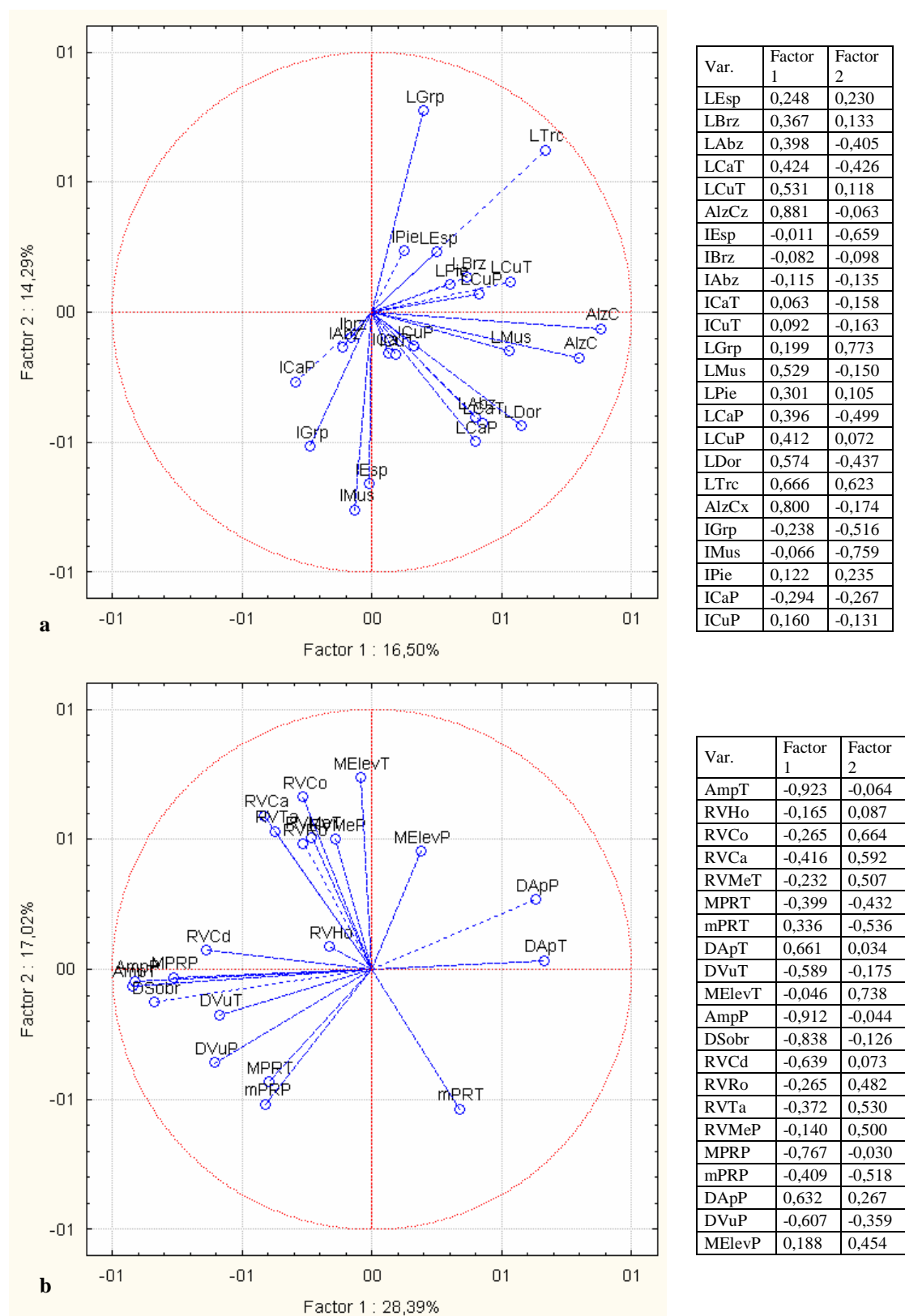


Figura 3.10. Análisis de componentes principales para las variables morfométricas (a) y biocinémicas (b) analizadas en la raza Lusitana; representación gráfica de los vectores de las variables en el plano definido por los factores 1 y 2, y respectivas coordenadas, para esos mismos factores.

4.3. ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA APTITUD DEL CABALLO SOBRE LAS DIFERENTES VARIABLES ANALIZADAS

El factor *explotación de procedencia* demostró influenciar significativamente los resultados. Observamos que de entre las 12 explotaciones, 5 son ganaderías donde los animales están domados pero sin entrenamiento específico; 3 se explotan por su aptitud para el rejoneo y las 4 restantes explotaciones las gestionan para la obtención de animales competidores en doma clásica. El primer grupo (*aptitud indeterminada*) representa 35 caballos analizados en esta tesis, el segundo (*rejoneo*) reúne 15 caballos y el tercero (*doma*) incluye los 38 caballos que completan la muestra. Con la finalidad de ver si esta diferente aptitud se correspondía con diferencias morfométricas y/o biocinémáticas se llevo a cabo un análisis canónico, junto con un análisis de varianza que permitiera determinar la significación de las diferencias en las variables analizadas según el factor aptitud. En este modelo de ANOVA se introdujo la velocidad como covariable (anexos 5a y 5b).

La figura 3.11 representa los animales de la muestra agrupados según su aptitud mediante las variables morfométricas. Las medias y desviaciones típicas de las cuatro variables que presentan un mayor peso sobre el eje uno (eje que diferencia el grupo *doma* de los otros dos) se presentan gráficamente en la figura 3.12, mientras que las que han pesado más sobre el eje dos (separando más el grupo *aptitud indeterminada* del grupo *rejoneo*) se presentan en la figura 3.13.

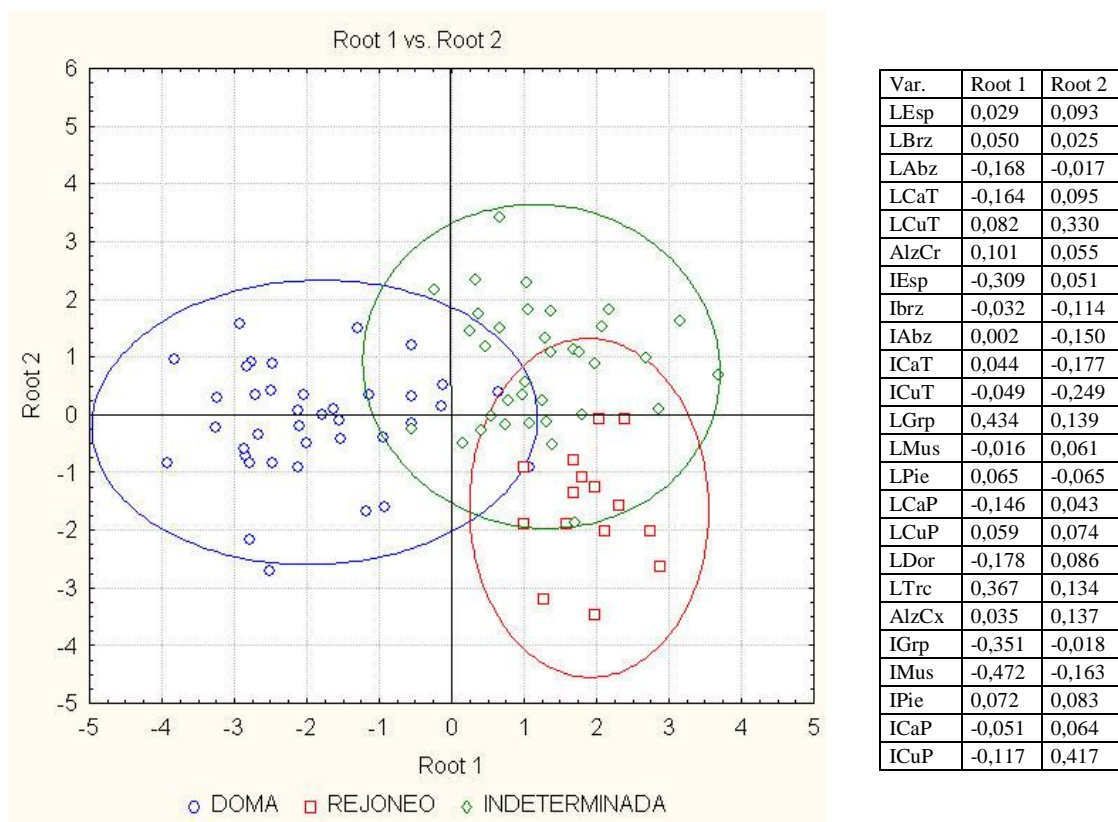
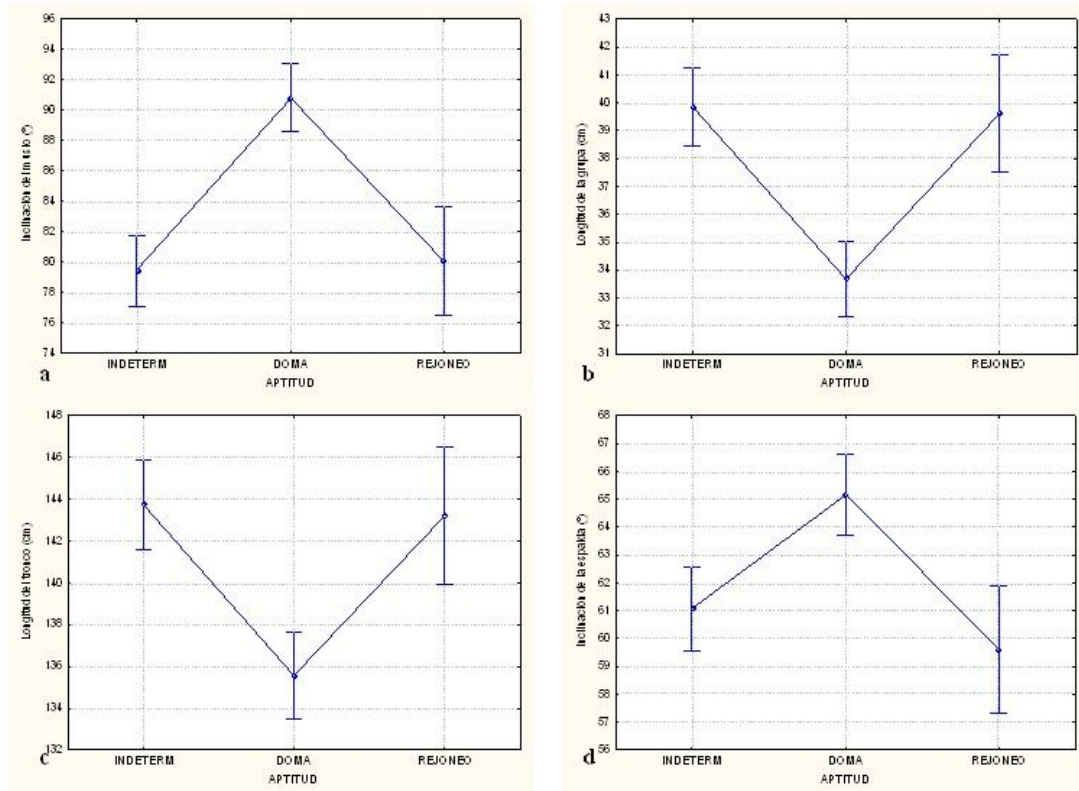
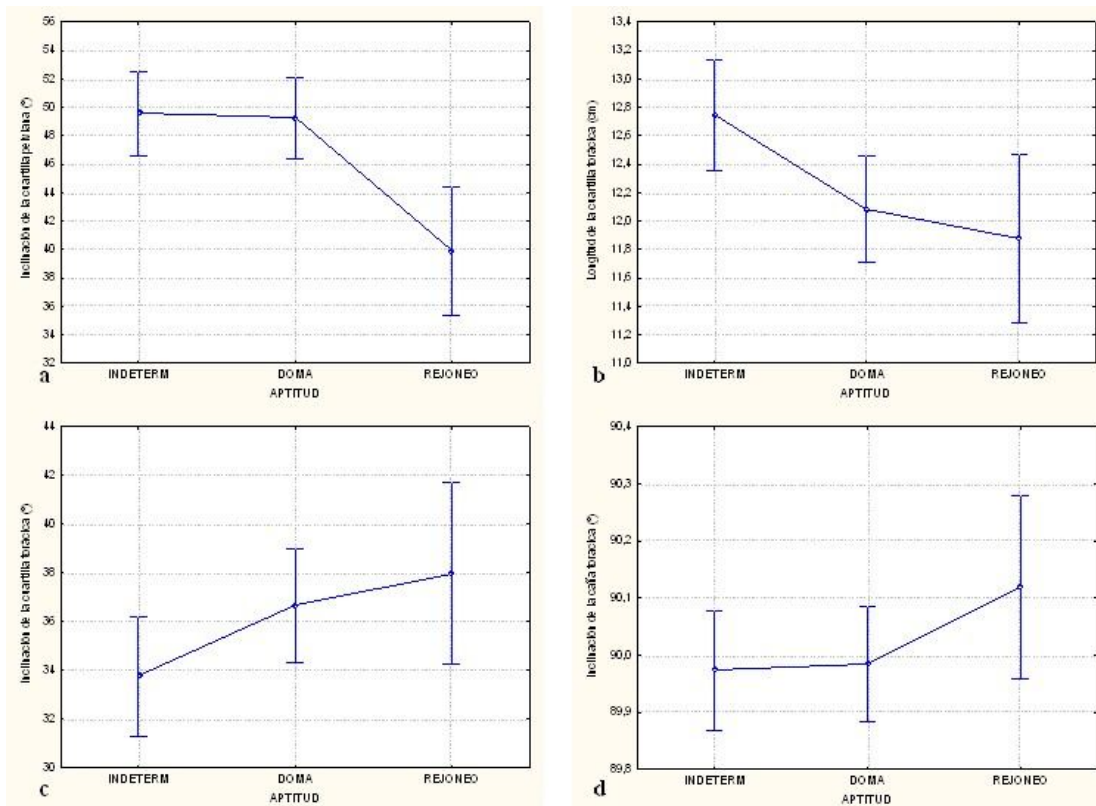


Figura 3.11. Análisis discriminante canónico para las variables morfométricas, agrupando los animales en función de su APTITUD (doma, rejoneo o indeterminada) en el caballo Lusitano; representación gráfica y peso relativo de las variables en los primeros ejes.



a – Inclinación del muslo; b – Longitud de la grupa; c – Longitud del tronco; d – Inclinación de la espalda.

Figura 3.12. Representación gráfica de las medias (\pm D.E.) de las variables morfométricas con más peso sobre el primer eje canónico de diferenciación según la aptitud en el caballo Lusitano.



a – Inclinación de la cuartilla pel; b – Longitud de la cuartilla tor; c – Inclinación de la cuartilla tor; d – Inclinación de la caña tor.

Figura 3.13. Representación gráfica de las medias (\pm D.E.) de las variables morfométricas con más peso sobre el segundo eje canónico de diferenciación según la aptitud en el caballo Lusitano.

Los resultados del análisis canónico según la aptitud de los animales para las variables biocinémáticas se presentan en la figura 3.14.

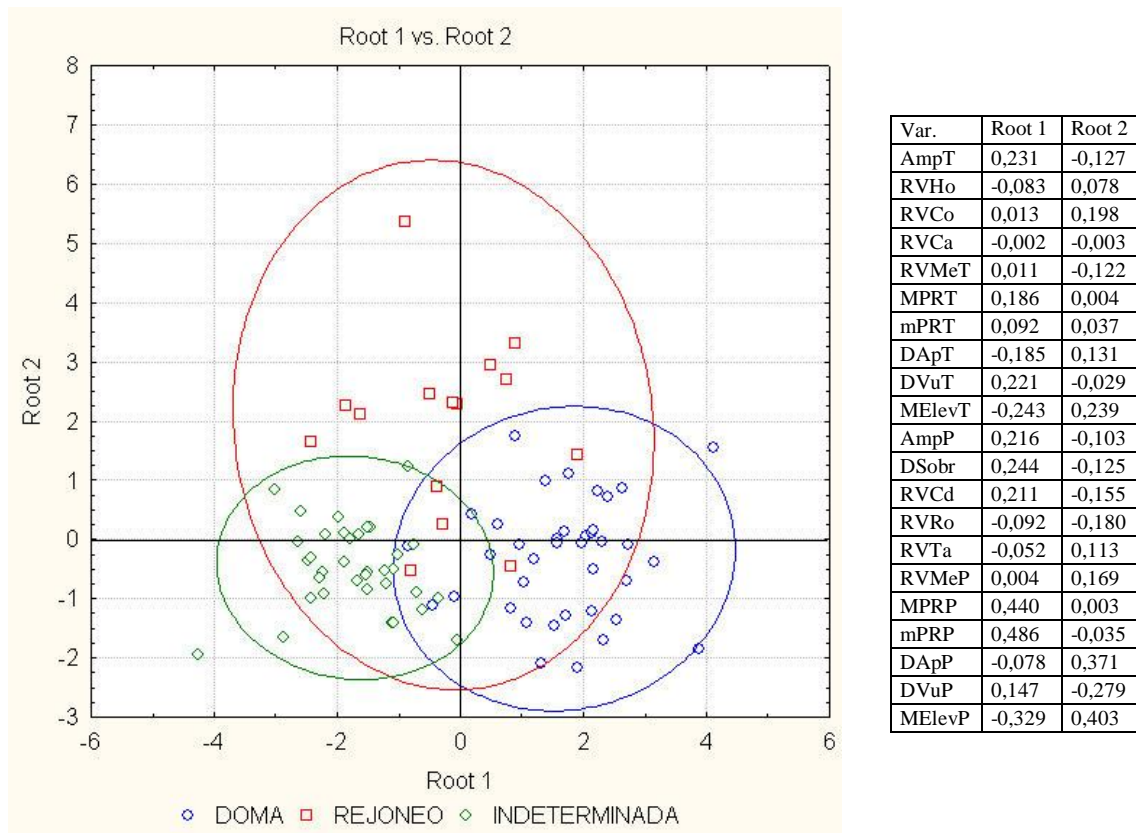
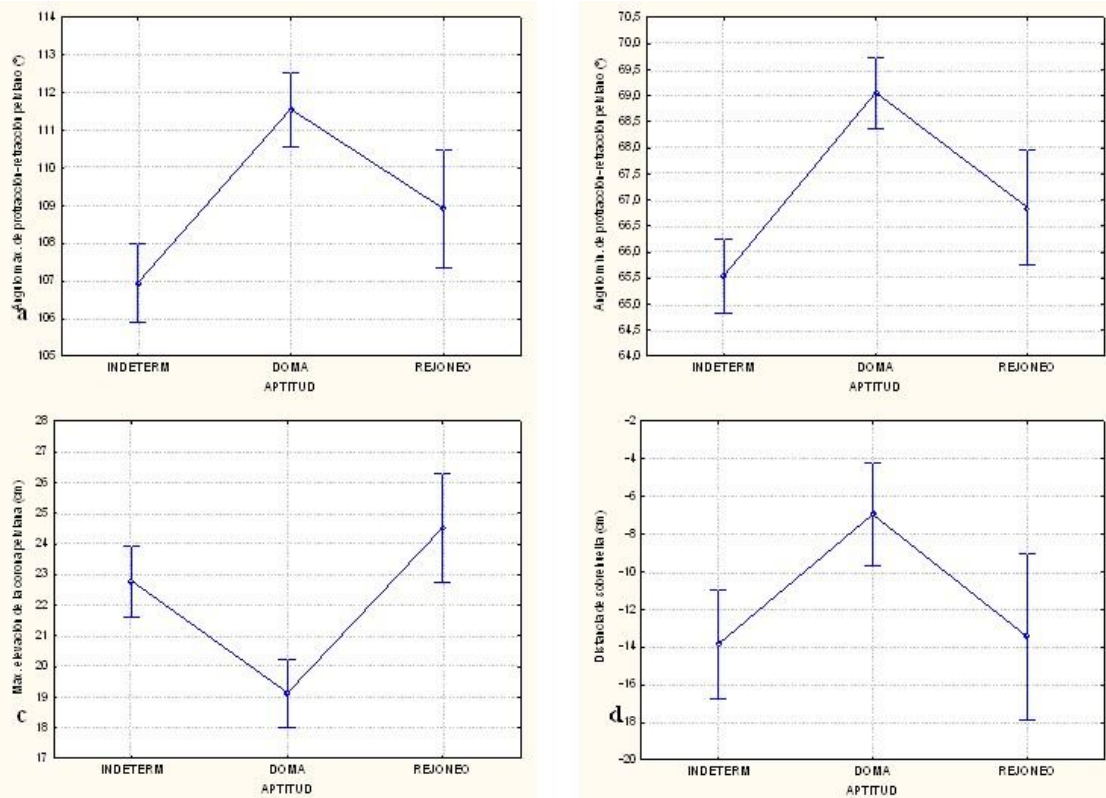


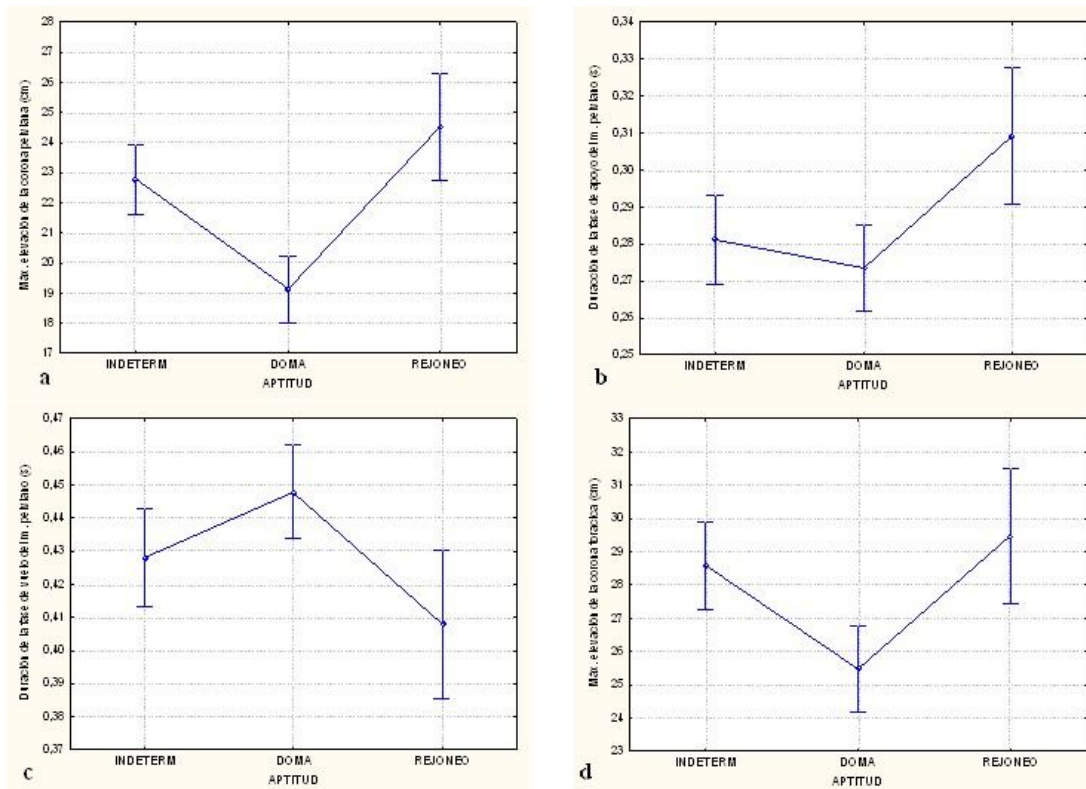
Figura 3.14. Análisis discriminante canónico para las variables biocinémáticas, agrupando los animales por APTITUD (doma, rejoneo o indeterminada) en el caballo Lusitano; representación gráfica de los dos primeros ejes junto con el peso relativo de las variables

Las variables que han presentado un mayor peso más sobre el eje uno (donde la distancia entre los grupos *aptitud indeterminada* y *doma* es más visible) han sido los *ángulos máximo y mínimo de protracción-retracción del miembro pelviano*, la *máxima elevación del miembro pelviano* y la *distancia de sobrehuella*. En cuanto al segundo eje (este factor que separa el grupo *rejoneo* de los otros dos, a pesar de que en este caso los grupos estén bastante más solapados), las variables que más influyeron han sido la *máxima elevación del miembro pelviano*, las *duraciones de la fase de apoyo y de la fase de vuelo del miembro pelviano* y la *máxima elevación del miembro torácico*. Las medias y desviaciones estándar de las variables biocinémáticas con más peso sobre los ejes uno y dos se presentan gráficamente en las figuras 3.15 y 3.16, respectivamente.

En cuanto a los resultados del análisis de varianza y análisis de covarianza (anexo 3, a y b), las cuatro variables morfométricas que más han influido sobre la primera variable canónica han demostrado diferencias altamente significativas entre grupos, mientras que entre las que más han pesado sobre el segundo componente sólo se han detectado diferencias significativas para la *inclinación de la cuartilla pelviana* y la *longitud de la cuartilla torácica*. Para las variables biocinémáticas, las diferencias entre grupos han sido altamente significativas para las cuatro variables que han influido más sobre la primera variable canónica, y altamente ó muy significativas para las que han pesado más sobre la segunda.



a – Áng. Máx. Prot-Retr. Pelviano; b – Áng. Mín. Prot-Retr. Pelviano; c – Máx. elev. corona pelviana; d – Distancia de sobrehuella.
Figura 3.15. Representación gráfica de las medias (\pm d.E.) de las variables biocinemáticas con más peso sobre el primer eje canónico de diferenciación según la aptitud en el caballo Lusitano.



a – Máx. elev. corona pelviana; b – Duración de Apoyo Pelviano; c – Duración de Vuelo Pelviano; d – Máx. elev. corona torácica.
Figura 3.16. Representación gráfica de las medias (\pm d.E.) de las variables biocinemáticas con más peso sobre el segundo eje canónico de diferenciación según la aptitud en el caballo Lusitano.

5. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS

El coeficiente de consanguinidad medio de la población de 88 animales analizados fue del 9,28%. La distribución de frecuencias de este coeficiente de consanguinidad se presenta en la figura 3.17.

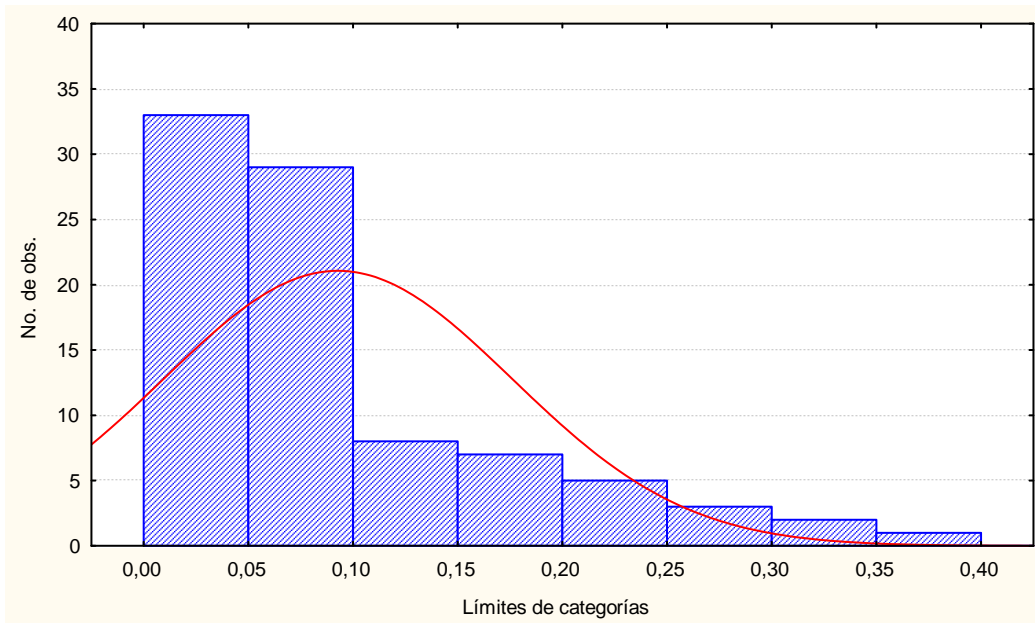


Figura 3.17: Histograma de frecuencias del coef. de consanguinidad de los 88 animales de la muestra.

La media del número máximo de generaciones (definido como el número de generaciones que separan al individuo de su ancestro más lejano), ha sido de 5,24, y el de generaciones completas (definido como el número de generaciones en que todos los ancestros son conocidos) de 1,94. Finalmente el número de generaciones equivalentes (calculados de acuerdo con Maignel *et al.*, 1996, como la suma de $(1/2)n$, donde n es el número de generaciones que separan al individuo de cada ancestro conocido) ha sido de 3,10.

Las estimaciones de la heredabilidad y de las correlaciones genéticas entre variables se presentan en las tablas 3.32, 3.33 y 3.34. En relación a las variables morfométricas (tabla 3.32), se han estimado heredabilidades con valor superior a 0,30 en 18 de las 24 variables. Los valores más elevados se han estimado para las variables *inclinación de la espalda* (0,71), *inclinación de la cuartilla pelviana* (0,72) y *longitud de la caña pelviana* (0,81). Los valores más bajos han sido los estimados para las variables *longitud de la cuartilla pelviana*, *inclinación del metatarso* y *longitud de dorso* (0,07, 0,10 y 0,24, respectivamente). Los errores estándar se sitúan entre 0,06 y 0,14.

De las 276 correlaciones genéticas entre las variables morfométricas, 186 (67,6%) han convergido en el espacio parametral, aunque en 91 casos los valores del error estándar han sido superiores a los valores de la correlación. Hemos estimado valores absolutos superiores a 0,50 en 29 de las correlaciones genéticas. Los valores de estimación de las correlaciones genéticas de mayor valor negativo han sido de -0,94 (*longitud de la caña pelviana* con *inclinación de la caña pelviana*), -0,83 (*longitud del tronco* con *inclinación del muslo*) y -0,73 (*longitud de la cuartilla pelviana* con *longitud del dorso*); los mayores valores positivos han sido de 0,83 (*longitud del antebrazo* con

alzada a la cruz), 0,79 (*longitud del antebrazo con inclinación de la cuartilla pelviana y longitud de la cuartilla pelviana con inclinación del muslo*) y 0,76 (*inclinación de la cuartilla torácica con inclinación de la cuartilla pelviana*).

Para las variables cinemáticas del trote (tabla 3.33), los valores de heredabilidad estimados han sido superiores al 0,30 en 18 de las 21 variables. Los valores más elevados se han estimado para las variables *rango de variación de la articulación del carpo* (0,88), *ángulo máximo de protracción-retracción en el miembro torácico* (0,78) y *rango de variación de la articulación del codo y duración de la fase de apoyo del miembro pelviano* (ambas con 0,77). Los valores más bajos, estos han sido estimados para las variables *máxima elevación de la corona pelviana* (0,12), *duración de la fase de apoyo del miembro torácico* (0,15) y *duración de la fase de vuelo del miembro torácico* (0,18).

En 189 combinaciones posibles de variables cinemáticas, han convergido 98 (52,9%). Los valores del error estándar han estado por encima del valor estimado de correlación genética en 82 casos. Se han estimado 45 correlaciones genéticas con valor absoluto por encima de 0,50, siendo que los valores positivos más elevados han sido de 0,99 (*rango de variación de la articulación del tarso con rango de variación de la articulación del menudillo pelviano*), 0,98 (*distancia de sobrehuella con rango de variación de la articulación de la cadera*) y 0,94 (*duración de la fase de vuelo del miembro torácico con distancia de sobrehuella*), mientras que los valores negativos de valor más elevado han sido de -0,95 (*rango de variación de la articulación de la rodilla con ángulo mínimo de protracción-retracción en el miembro pelviano*), -0,88 (*ángulo mínimo de protracción-retracción en el miembro torácico con duración de la fase de vuelo del miembro torácico*) y -0,78 (*ángulo mínimo de protracción-retracción en el miembro pelviano con duración de la fase de apoyo del miembro pelviano*).

Finalmente, en lo que respecta a las correlaciones genéticas entre variables morfométricas y variables cinemáticas del trote (tabla 3.34), han convergido un 78% de las combinaciones (393 de las 504 posibles), aunque 181 con correlaciones inferiores al valor del error. De entre las correlaciones para las cuales ha sido posible encontrar convergencia, para 51 se han obtenido valores absolutos superiores al 0,50. Las correlaciones negativas más fuertes han sido las entre *inclinación de la espalda y máxima elevación de la corona pelviana* (-0,91), entre *inclinación de la caña pelviana y rango de variación de la articulación de la cadera* (-0,80), y entre *inclinación de la caña pelviana y duración de la fase de apoyo del miembro pelviano* (-0,76). En cuanto a las correlaciones de valor positivo más elevado, han ascendido a 0,89 (*longitud de la cuartilla pelviana con máxima elevación de la corona torácica*), 0,81 (*inclinación de la pierna con máxima elevación de la corona pelviana*) y 0,80 (*inclinación de la caña pelviana con rango de variación de la articulación de la cadera*).

Teniendo en cuenta todas las correlaciones genéticas estimadas, las variables que establecieron correlaciones genéticas de mayor valor absoluto han sido la *duración de la fase de vuelo del miembro torácico*, el *rango de variación angular del menudillo torácico*, el *ángulo mínimo de retracción-protracción del miembro torácico*, la *amplitud de tranco pelviano*, la *distancia de sobrehuella*, la *inclinación de la pierna* y la *inclinación de la cuartilla pelviana* (todas estas variables establecieron, por lo menos, 5 correlaciones de valor absoluto superior al 0,50).

RESULTADOS

Tabla 3.33. Heredabilidades (en la diagonal) y correlaciones genéticas, y sus errores estándar, (en las líneas grises) entre variables cinemáticas del trote (NC = no converge).

	AmpT	RVHo	RVCo	RVCa	RVMeT	MPRT	mPRT	DapT	Dvut	MElevT	AmpP	DSobr	RVCD	RVRo	RVTA	RVMeP	MPPRP	mPPRP	DapP	Dvup	MElevP		
AmpT	0.53																						
RVHo	0.17	0.32																					
RVCo		0.16	0.26																				
RVCa			0.12	0.88																			
RVMeT			0.12	0.53	0.16																		
MPRT				0.16	0.23	0.16																	
mPRT					0.12	0.12	0.12																
DapT						0.11	0.78	0.11															
Dvut								0.17	0.51														
MElevT									0.10	0.18													
AmpP										0.31	0.43												
DSobr											0.64	0.22											
RVCD												0.43	0.21										
RVRo													0.21	0.05									
RVTA														0.51	0.17								
RVMeP															0.37	1.22							
MPPRP																0.65	0.63						
mPPRP																	0.21	0.20					
DapP																		0.38	-0.27				
Dvup																			0.15	0.24			
MElevP																				0.08	0.77		
																					0.07	0.07	
																						0.12	
																							0.07

Tabla 3.34. Correlaciones genéticas, y sus errores estándar, (en las líneas grises) entre variables morfométricas y cinemáticas (NC = no converge).

	LEsp	LBrz	LAbz	LCaT	LCuT	AlzCz	IEsp	IBrz	IAbz	ICaT	ICuT	LGrp	LMus	LPie	LCaP	LCuP	LDor	LTre	AlzCx	IGrp	IMus	IPie	ICaP	ICuP
AmpT	0.38	0.32	0.40	0.34	0.09	-0.17	0.00	0.53	0.19	-0.18	-0.29	0.21	0.24	0.39	0.40	-0.33	0.12	0.42	0.03	-0.04	-0.08	0.94	0.20	0.18
RVHo	NC	NC	NC	0.19	0.15	0.19	0.14	0.15	0.17	0.18	0.11	0.17	0.16	0.12	0.19	0.27	0.29	0.22	0.23	0.26	0.30	NC	NC	NC
RVCo	0.03	0.53	0.04	-0.53	-0.01	-0.16	-0.02	-0.54	-0.05	-0.06	0.54	-0.20	-0.17	0.34	-0.44	0.40	-0.13	-0.11	-0.25	-0.26	-0.27	-0.58	-0.26	-0.02
RVCa	NC	NC	NC	0.18	0.16	0.21	0.15	0.14	0.18	0.18	0.14	0.17	0.16	0.17	0.19	0.27	0.30	0.27	0.23	0.27	0.32	NC	NC	NC
RVMeT	0.03	0.44	-0.03	-0.26	0.03	-0.10	0.03	-0.19	-0.05	0.22	-0.31	0.22	0.03	0.22	-0.13	0.42	0.38	0.56	-0.18	-0.31	-0.22	0.41	0.05	0.25
MPRT	0.18	0.20	0.19	0.20	0.16	0.21	0.14	0.18	0.19	0.18	0.11	0.16	0.16	0.14	0.23	0.28	0.28	0.21	0.24	0.26	0.31	NC	NC	NC
mPRT	0.44	0.29	-0.20	-0.19	0.04	-0.46	0.12	0.15	0.29	0.15	-0.20	-0.29	-0.47	-0.14	-0.44	0.60	0.24	0.08	-0.59	0.12	-0.06	0.47	-0.09	0.20
DApT	0.17	0.21	0.18	0.22	0.15	0.18	0.15	0.20	0.16	0.18	0.12	0.17	0.14	0.15	0.21	0.24	0.30	0.28	0.19	0.29	0.33	NC	NC	NC
DVuT	0.05	0.47	-0.22	0.14	-0.03	0.23	0.09	-0.26	0.35	0.28	-0.53	-0.05	-0.27	-0.08	0.30	0.30	0.38	0.18	-0.23	0.29	-0.17	0.52	-0.27	0.72
MElevT	0.13	0.13	0.11	0.25	0.16	0.23	0.15	0.23	0.20	0.19	0.12	0.18	0.17	0.16	0.26	0.30	0.27	0.27	0.24	0.28	0.32	NC	NC	NC
AmpP	0.13	0.14	-0.34	0.29	0.06	0.30	0.62	0.67	-0.55	-0.02	-0.07	-0.06	0.05	-0.24	-0.09	-0.30	0.46	-0.29	0.40	0.05	0.36	-1.00	0.99	-0.11
DSobr	0.09	0.12	0.11	0.21	0.15	0.20	0.11	0.15	0.16	0.19	0.13	0.17	0.18	0.16	0.29	0.32	0.31	0.29	0.25	0.31	0.31	NC	NC	NC
RVCD	-0.21	-0.08	-0.41	-1.00	-0.04	0.41	0.31	0.08	-0.28	0.46	0.53	0.06	-0.53	-0.14	-0.27	-0.22	0.46	-0.42	0.22	-0.02	0.05	-0.66	0.99	0.13
RVRo	0.11	0.12	0.12	NC	0.13	0.20	0.12	0.16	0.15	0.19	0.13	0.18	0.17	0.17	0.27	0.33	0.30	0.26	0.27	0.30	0.33	0.27	NC	NC
RVTa	0.29	0.05	0.03	-0.16	0.03	0.22	0.26	0.24	-0.44	-0.61	0.08	-0.30	-0.23	0.32	-0.08	0.06	0.52	0.01	0.25	-0.01	-0.26	0.66	-1.00	-0.38
RVMeP	0.10	0.15	0.14	0.16	0.14	0.19	0.13	0.15	0.12	0.21	0.11	0.33	0.28	0.18	0.14	0.18	0.25	0.18	0.17	0.26	0.43	0.27	NC	NC
MPRP	-0.05	0.51	-0.18	0.79	-0.01	0.08	-0.22	-0.01	0.20	-0.33	-0.21	0.08	0.36	0.48	0.24	-0.21	0.13	0.64	-0.05	0.28	-0.39	0.60	-0.64	-0.66
mPRP	0.13	0.14	0.18	0.10	0.15	0.19	0.13	0.07	0.16	0.36	0.31	0.15	0.21	0.15	0.15	0.34	0.32	0.18	0.20	0.21	0.21	0.24	0.34	0.18
DApP	-0.23	0.44	0.05	-0.52	-0.07	-0.36	-0.21	-0.04	0.10	0.02	-0.21	-0.23	-0.26	0.02	-0.64	0.89	-0.19	-0.15	-0.55	-0.09	-0.24	0.56	0.24	-0.39
DVuP	0.14	0.17	0.16	0.19	0.15	0.19	0.15	0.07	0.13	0.24	0.12	0.21	0.17	0.17	0.12	0.09	0.31	0.16	0.15	0.19	0.21	0.24	0.47	0.20
MElevP	-0.23	0.31	0.37	0.55	-0.11	-0.21	0.00	0.23	0.24	-0.23	-0.23	0.14	0.16	0.16	0.16	0.15	0.23	-0.02	0.34	0.13	0.33	0.05	-0.65	-0.60
	0.18	0.20	0.20	0.14	0.14	0.19	0.14	0.17	0.17	0.37	0.25	0.15	0.16	0.16	0.15	0.32	0.30	0.17	0.13	0.19	0.23	0.30	0.38	0.15
	-0.24	0.15	0.54	0.44	-0.24	0.27	-0.04	0.14	0.43	-0.06	-0.01	0.15	0.19	0.21	0.41	-0.14	-0.30	0.11	0.45	0.41	0.64	0.27	-0.25	0.08
	0.20	0.21	0.19	0.15	0.14	0.20	0.15	0.16	0.24	0.36	0.16	0.18	0.18	0.19	0.14	0.21	0.27	0.17	0.12	0.20	0.17	0.28	0.51	0.16
	-0.69	-0.14	0.11	-0.23	-0.42	-0.37	-0.03	-0.04	-0.11	0.12	-0.23	0.30	-0.41	-0.28	-0.30	0.40	-0.36	-0.29	-0.30	0.56	0.28	0.46	-0.80	-0.09
	0.14	0.21	0.23	0.19	0.13	0.18	0.15	0.10	0.17	0.24	0.16	0.26	0.23	0.17	0.14	0.23	0.36	0.17	0.14	0.18	0.20	0.31	0.29	0.18
	0.53	0.21	-0.57	-0.08	0.04	-0.43	-0.45	-0.16	-0.11	-0.29	-0.60	-0.03	-0.24	0.04	-0.23	-0.51	-0.07	0.75	0.01	-0.14	-0.27	0.57	0.24	-0.12
	0.18	0.21	0.21	0.21	0.17	0.19	0.13	0.17	0.22	0.24	0.19	0.19	0.29	0.17	0.17	0.20	0.31	0.14	0.15	NC	NC	NC	NC	NC
	-0.07	0.19	-0.03	0.03	-0.03	-0.26	-0.21	-0.44	0.10	-0.02	-0.56	0.33	-0.03	-0.09	-0.19	0.10	-0.24	0.28	0.10	0.28	0.20	0.31	0.09	-0.14
	0.25	0.40	0.26	0.23	0.11	0.21	0.11	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	0.15	0.18	0.31	0.16	0.20	NC	NC	0.11	0.15	0.11
	0.03	0.31	-0.15	-0.31	-0.05	-0.57	-0.01	-0.48	-0.22	-0.08	-0.23	0.06	-0.34	-0.12	-0.44	0.28	0.00	0.24	-0.14	-0.11	0.12	0.19	0.05	-0.35
	0.28	0.21	0.14	0.14	0.11	0.18	0.11	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	0.19	0.22	0.28	0.20	0.19	NC	NC	0.12	0.15	0.08
	-0.20	0.00	0.18	0.08	-0.27	-0.23	0.36	-0.05	-0.12	-0.25	0.12	-0.48	-0.34	-0.30	-0.43	0.53	-0.03	-0.45	-0.09	0.48	0.62	0.08	-0.39	-0.27
	0.26	0.23	0.16	0.18	0.12	0.24	0.15	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	0.20	0.26	0.33	0.16	0.20	NC	NC	0.14	0.19	0.09
	-0.61	0.28	0.39	0.25	0.07	0.19	0.55	0.17	0.34	0.05	0.67	-0.66	0.30	0.09	-0.02	0.52	0.42	-0.71	0.32	0.33	0.77	-0.40	-0.14	0.05
	0.19	0.24	0.16	0.15	0.15	0.23	0.11	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	0.19	0.22	0.28	0.20	-0.25	-0.08	-0.02	0.80	-0.76	-0.10
	0.34	-0.17	0.16	0.04	-0.24	0.24	-0.29	-0.06	-0.57	0.01	-0.36	0.10	-0.36	0.34	-0.08	0.35	0.29	0.13	-0.25	-0.08	-0.02	0.80	-0.76	-0.05
	0.17	0.16	0.13	0.16	0.12	0.17	0.10	0.13	0.10	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	0.08	0.12	0.09
	-0.28	0.48	-0.13	0.44	-0.05	-0.32	0.15	0.11	0.35	-1.00	-1.00	1.00	0.55	0.06	0.25	0.01	-0.14	-0.02	0.49	0.55	-1.00	-0.46	0.23	-0.26
	0.17	0.14	0.15	0.16	0.12	0.15	0.10	0.11	0.12	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	0.13	0.16	0.11
	-0.12	-0.06	0.50	0.01	0.16	0.16	-0.91	-0.47	-0.06	-0.80	-1.00	0.64	0.03	0.58	-0.25	0.86	0.18	-0.69	0.37	1.00	0.35	0.81	-0.69	0.13
	0.20	0.20	0.15	0.22	0.20	0.21	0.10	0.15	0.22	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	0.13	0.18	0.22



DISCUSIÓN

1. MORFOMETRÍA DEL CABALLO LUSITANO

La morfología del caballo ha sido desde siempre un tema del interés de veterinarios, ganaderos, entrenadores y jinetes, a pesar de que, hasta recientemente, poco se ha profundizado en lo que respecta a la estandarización de los métodos de evaluación de los caracteres morfológicos. Las dimensiones corporales y la proporcionalidad que se establece entre las diferentes regiones del caballo son características que asociamos a la belleza y equilibrio del animal, y a su estándar racial. Por otro lado, los ángulos definidos por los segmentos óseos y por las articulaciones del caballo son extremadamente importantes, porque condicionan, por un lado, la calidad de los aires, y, por otro, el equilibrio de fuerzas ejercidas sobre las estructuras anatómicas y la amortiguación de impactos, que pueden a largo plazo comprometer el rendimiento deportivo del animal, al derivar en lesiones. Aunque la relación entre una buena conformación y un buen rendimiento sea consensual, siguen persistiendo muchas apreciaciones de carácter subjetivo sobre el significado de una buena conformación, principalmente cuando, más que un animal libre de lesiones y cojeras, lo que se busca es un animal con características que lo distinguan de los demás en cuanto a su rendimiento deportivo (Belloy y Bathe, 1996; Mawdsley *et al.*, 1996).

Generalmente, la valoración morfológica del caballo se puede realizar mediante dos tipos de evaluaciones distintas: una evaluación cualitativa, donde un calificador, debidamente conocedor de las características y defectos en una raza determinada, atribuye una puntuación a cada uno de los rasgos morfológicos preestablecidos; y una evaluación cuantitativa, ó estudio biométrico, donde se recoge un conjunto de medidas, generalmente definidas por alzadas, perímetros y distancias entre referencias anatómicas que sean fácilmente identificables, para que los datos recogidos en diferentes animales sean comparables.

A la evaluación cualitativa se le achacan como principales inconvenientes la poca precisión y la subjetividad de las puntuaciones, observándose que los jueces son sensibles a factores como el color de la capa del animal, su edad ó la explotación de procedencia (Gómez *et al.*, 2006). Para analizar la relación entre conformación y rendimiento es necesario, en primer lugar, cuantificar los caracteres morfométricos. Para ello, se deben aplicar métodos instrumentales, con preferencia sobre los que se basan únicamente en la observación del ser humano.

En los estudios biométricos, las dos principales fuentes de error son la identificación de las referencias anatómicas y el posicionamiento del caballo en el momento de la toma de medidas, dada su influencia sobre las medidas a recoger (Weller *et al.*, 2006). A estas fuentes de error se añaden, al utilizar métodos indirectos, donde las medidas se recogen sobre imágenes fotográficas de los animales, la distorsión de la imagen provocada por la desviación del ángulo que la cámara describe con el caballo, los errores geométricos causados por la reducción de un objeto tridimensional a una imagen a dos dimensiones y la precisión más ó menos limitada del método de medición de segmentos y ángulos sobre la imagen (Weller *et al.*, 2006).

La utilización de marcadores y sistemas de captación de imagen en tres dimensiones, tales como el sistema utilizado en nuestro trabajo, reduce las potenciales distorsiones del método fotográfico (las medidas son independientes de la posición del caballo relativa a la cámara, y se disminuye el efecto de la reducción de 3 a 2 dimensiones) y permite la toma repetida de medidas con relativa facilidad. La repetición en la toma de

medidas permite reducir significativamente el error estándar de las mismas y aumentar la exactitud de los valores medios obtenidos (Weller *et al.*, 2006).

En este trabajo, la toma de datos morfométricos se realizó midiendo las distancias entre marcadores grabados por dos cámaras en simultáneo, en el instante de apoyo medio del miembro torácico, para las medidas situadas entre los marcadores 1 al 9, y en el instante de apoyo medio del miembro pelviano, para las medidas delimitadas por los marcadores 10 al 16. Esta no es la metodología convencional para la toma de datos biométricos en el caballo, que suele hacerse con los animales en estación y cuadrados, ó sea, apoyándose igualmente sobre los cuatro miembros y con los ejes de los miembros en la vertical (Aparicio, 1960; Miranda do Vale, 1976). Esto puede conducir a que nuestros resultados no sean perfectamente comparables con los resultados obtenidos por otros autores en esta raza, o en otras razas. No obstante, el rigor que implica la identificación de esos instantes bien definidos hace que, dentro de nuestra muestra, los datos sean bastante comparables, ya que prácticamente se anulan los errores introducidos por el posicionamiento del caballo (la determinación del instante de apoyo medio se hace mediante la determinación automática de la verticalidad de los segmentos definidos por los marcadores 7 y 8, para el miembro torácico, y 11 y 16, para el pelviano).

La definición de los puntos de referencia para cada variable tampoco es exactamente la que se suele utilizar en los estudios biométricos clásicos, pues en nuestro trabajo se emplearon como referencias los marcadores utilizados para el estudio cinemático, y este hecho justifica probablemente la mayoría de las diferencias encontradas entre nuestros valores y los citados en otros estudios. Por ejemplo, en nuestro trabajo hemos tomado la alzada a la cruz como la distancia entre la cruz y la corona pelviana, por la cara lateral. Como sería de esperar, entre el marcador de la corona y el suelo hay una distancia de unos 7 cm, aproximadamente, como se puede observar en la figura 3.3 en el apartado de Resultados. Esto repercute en las diferencias encontradas entre nuestro valor (151,2 cm) y el valor de 159,8 cm obtenido en la misma raza (Oom y Costa Ferreira, 1987), o en el valor de 157,9 cm descrito por Peña y Monterde (2007) en el caballo de Pura Raza Española. Esta diferencia se verifica en todas las alzadas.

1.1. CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS

Hemos comparado nuestros resultados con dos estudios donde se han utilizado metodologías similares y referencias anatómicas idénticas en la mayoría de las medidas analizadas (tabla 4.1). Al comparar los resultados, hay que tener en cuenta que son razas muy distintas de la raza Lusitana: en el estudio de Hölmstrom *et al.* (1990) se utilizaron caballos de deporte suecos (Swedish Warmblood o SWB), cuya aptitud es la doma clásica o el salto; el estudio de Wéller *et al.* (2006) se hizo en caballos Pura Sangre Inglés, criados para las carreras de galope. Así mismo, hablamos de animales más altos que el caballo Lusitano (la alzada a la cruz de los caballos suecos si situó entre los 163 y los 166 cm y la de los caballos ingleses fue de 162 cm), lo que tiene indudablemente su repercusión en las medidas corporales.

Tabla 4.1. Comparación entre medidas corporales (longitudes e ángulos) de tres razas, obtenidas utilizando métodos informáticos de análisis de imagen.

Medida	Dos Santos (2008) P.S.Lusitano	Weller <i>et al.</i> (2006) P.S.Ingles	Holmström <i>et al.</i> (1990) Swedish Warmblood
<i>LONGITUDES (cm):</i>			
Cuello	69	76	74
Espalda	35	58	41
Brazo	30	31	32
Antebrazo	37	40	37
Caña Torácica	22	24	22
Cuartilla Torácica	12	-	8
Dorso	73	87	-
Grupa	37	35	58
Muslo	43	40	38
Pierna	32	60	50
Caña Pelviana	28	29	27
Cuartilla Pelviana	12	-	9
<i>ÁNGULOS (°):</i>			
Inclinación de la espalda	63	-	65
Hombro	101	136	125
Codo	131	120	150
Menudillo Torácico	234	210	212
Inclinación de la grupa	22	-	30
Cadera	107	75	119
Inclinación del muslo	85	-	88
Babilla	141	120	156
Corvejón	147	160	159
Menudillo Pelviano	222	206	205

Nota: Dos Santos (2008) y Weller *et al.* (2006) utilizaron la metodología 3D de análisis de secuencias de vídeo, mientras que Holmström *et al.* (1990) utilizaron la metodología 2D de análisis de imágenes fotográficas.

Consideramos que la mayoría de las diferencias encontradas son de magnitud moderada. Las 3 medidas que han presentado variaciones más amplias han sido la *longitud de la pierna*, la *longitud del dorso* y la *longitud de la espalda*. Las diferencias en la *longitud de la pierna* se explican parcialmente por las referencias anatómicas usadas para su medida por Weller *et al.* en 2006, la porción más anterior de la rótula y el maléolo lateral de la tibia. Sin embargo, las referencias usadas por Holmström *et al.* (1990) han sido las mismas que hemos utilizado en nuestro estudio. Para la *longitud del dorso*, los autores ingleses han utilizado como limite caudal la tuberosidad sacra, lo que también puede contribuir para la diferencia observada. En lo que se refiere a la *longitud de la espalda*, las referencias anatómicas utilizadas en los estudios han sido idénticas, por lo que la diferencia no se puede justificar por cuestiones metodológicas, y apenas por un dimorfismo racial acentuado.

La *longitud del cuello* en los caballos Lusitanos de este estudio ha sido de 68,96 cm, lo que es superior al valor obtenido por Oom y Costa Ferreira (1987) en caballos Lusitanos (62 cm), pero bastante cercano al valor obtenido por Peña y Monterde (2007) en caballos de Pura Raza Española (66,79 cm). Holmström (1994) refiere la *longitud del cuello* como una de las pocas medidas corporales en que se detectaron diferencias significativas entre caballos de élite en doma clásica y en saltos de obstáculos, presentando valores de 71,9 cm para el primer grupo y de 75,0 cm para el segundo.

Según este autor, la ventaja funcional de un cuello largo es importante en la mecánica del salto, pero no repercute en el rendimiento de un caballo de doma.

En general, los ganaderos y jinetes buscan a animales con espaldas largas y bien inclinadas. Según Forest (1996) y Hedge (2004), el ángulo de la espalda debería ser cercano a los 50°, pues una espalda más vertical, en conjunto con un ángulo más abierto del hombro, restringe la amplitud del tranco y la duración de la fase de vuelo del miembro torácico. Así mismo, Hedge (2004) afirma que las espaldas verticales sujetan el miembro a impactos más intensos y frecuentes (al acortar el tranco). No obstante, Marks (2000) defiende que lo que se considera la inclinación de la espalda depende bastante de las referencias tomadas, y distintos etnólogos la han definido, tanto como el ángulo de la línea que sale del final del borde crinal y termina en la punta del hombro, como por el ángulo establecido entre la línea que une la tuberosidad de la espina de la escápula a la articulación escápulo-humeral y la horizontal. Este autor refiere que en caballos de élite en saltos obtuvo un rango de variación entre los 55° y los 70°. Holmström *et al.* (1990) obtuvieron valores promedio para la inclinación de la espalda de 66,3° en caballos “normales”, y de 62,7° y 61,7° para caballos de élite en doma clásica y en saltos, respectivamente. El valor obtenido para la *inclinación de la espalda* en nuestro estudio ha sido de 62,57°, lo que es un valor muy cercano a los descritos por los anteriores autores. Sin embargo, Barrey *et al.* (2002a) obtuvieron valores que oscilaron entre los 54° (para caballos PRE) y los 59° (para caballos Silla Francés). En lo que respecta a la *longitud de la espalda*, Oom y Costa Ferreira (1987) refieren un valor de 67,4 cm, pero toman como referencia anatómica la cruz. Barrey *et al.* (2002a), tomando como referencia el borde superior del cartílago escapular, refieren valores de 53 cm para caballos de razas alemanas y francesas y 50 cm para el caballo de Pura Raza Española. Así mismo, el valor que hemos obtenido (34,56 cm) es inferior al los dos valores obtenidos en otras razas, pero con las mismas referencias (58 cm y 41 cm, respectivamente, para el Pura Sangre Inglés y para el SWB).

La importancia de la región del brazo está relacionada con el hecho de que el húmero sirve de brazo de palanca para un importante conjunto de músculos. Parece ser que la longitud del húmero es el parámetro que presenta una correlación más elevada con la calidad de los aires en caballos jóvenes (Holmström y Philipsson, 1993). Un brazo largo es deseable, debiéndose situar el ángulo del hombro entre los 105° y los 120° (Marks, 2000; Hedge, 2004). El valor medio para la *longitud del brazo* en nuestro estudio ha sido de 30,44 cm, muy cercano a los valores encontrados por Weller *et al.* (2006) en los Pura Sangre Ingleses y por Holmström *et al.* (1990) en caballos de deporte suecos. Barrey *et al.* (2002a) obtuvieron valores de 29 cm para caballos de PRE, y de 32 y 33 cm para caballos alemanes y franceses, respectivamente. El *ángulo del hombro* en nuestro estudio ha sido de 100,84°, lo que representa un ángulo más cerrado que los que han obtenido Holmström (1994) y Weller *et al.* (2006), pero semejante al que obtuvieron Barrey *et al.* (2002a) para caballos de PRE (101°), aunque inferior a los resultados obtenidos por estos autores en otras razas (105°).

La *longitud del antebrazo* esta asociada a la amplitud de tranco, siendo por lo tanto deseable que el antebrazo sea largo. Sin embargo la caña, al constituir el soporte óseo de los tendones, debe ser relativamente corta, por implicar mayor robustez y resistencia a las lesiones. Comparando nuestros resultados con los relativos al Pura Sangre Inglés y al SWB, la relación entre la *longitud del antebrazo* y la *de la caña* es idéntica en las tres razas (59% en el Lusitano y SWB, y 60% en el Pura Sangre Inglés). Barrey *et al.* (2002a) obtuvieron valores ligeramente superiores (41 a 44 cm) para el antebrazo en

caballos P.R.E., Silla Francés y caballos de deporte alemanes, pero las medidas de la caña torácica también fueron superiores (entre los 29 y los 32 cm). En cuanto al *ángulo del codo*, estos autores refieren ángulos cercanos a los 140° para las diferentes razas, valor superior al que hemos obtenido para el caballo Lusitano (131°), que se ha situado entre los valores de Weller *et al.* (2006) (120°) y de Holmström (1994) (150°).

Las cuartillas son las responsables de un importante mecanismo de amortiguamiento del impacto con el suelo. Es deseable que posean suficiente longitud y inclinación para permitir una reducción eficaz de los choques entre los huesos del miembro, y también proporcionar suspensión y cadencia a los aires, lo que es fundamental en los caballos de doma clásica (Marks, 2000). Pero las cuartillas demasiado largas e inclinadas producen que los tendones y ligamentos del miembro sufran un incremento de tensión, y pueden por ello predisponer al caballo a lesiones en estas estructuras (Hedge, 2004). En nuestro estudio, las *cuartillas* en el miembro torácico han tenido una *longitud* superior a las del SWB y su inclinación, que también influencia el *ángulo del menudillo*, ha sido superior.

Los valores observados en nuestro estudio para la *longitud del tronco* (140,10 cm) sufren también la influencia de las referencias anatómicas de medida. Así, nuestro valor es bastante inferior a los de aquellos autores que lo han medido en razas similares (PSL, PRE) tomando como referencia el encuentro y la punta de la nalga (Oom y Costa Ferreira, 1987; Peña y Monterde, 2007). Los valores observados por Holmström *et al.* (1990) obtenidos a partir de las mismas referencias utilizadas en esta Tesis son todavía de mayor magnitud (168,8 a 170,9 cm), pero se pueden explicar por el hecho de que los caballos SWB tienen un tamaño medio bastante superior al caballo Lusitano, y son caballos de tipo longilíneo (más largo que alto), mientras que el caballo Lusitano es un caballo de tipo mediolíneo. Con una metodología semejante a la que hemos utilizado, Barrey *et al.* (2002a) han obtenido valores de 144 cm para razas alemanas, 148 cm para caballos Silla Francés y 134 cm para caballos de Pura Raza Española. En cuanto a la *longitud del dorso*, hay autores que defienden que debe ser largo, pues eso supone que sea más flexible (Forest, 1996), mientras que otros defienden que sea corto, porque estará menos expuesto a lesiones (Hedge, 2004). Nuestros valores han sido bastante inferiores a los obtenidos por Weller *et al.* (2006), pero, en este caso, las referencias anatómicas utilizadas han sido distintas, por lo que los dos valores no son comparables.

La grupa debe ser larga. Idealmente, la articulación lumbo-sagrada deberá situarse lo más cranealmente posible, y el ilion ser bastante largo, lo que le permite funcionar mejor como brazo de palanca en los ejercicios reunidos (Bennett, 1996). El valor de *longitud de la grupa* obtenido en esta Tesis (37,15 cm) no es comparable con el de Oom y Costa Ferreira (1987) (55,48 cm), pues estos autores han tomado como referencia posterior la punta de la nalga (tuberosidad isquiática), y no el trocánter mayor del fémur. También nuestro valor es bastante inferior al obtenido por Holmström *et al.* (1990) (58 cm) y ligeramente superior al de Weller *et al.* (2006) (35 cm), utilizando las mismas referencias. Barrey *et al.* (2002a) obtuvieron valores de longitud del fémur de 33 cm para caballos de PRE y de 36 cm para caballos alemanes y franceses. En cuanto a la *inclinación*, una grupa más horizontal permite un tranco más amplio y más elegante (Hedge, 2004). Holmström *et al.* (1990) observaron valores de 31,4° en caballos “no deportivos”, y de 29,9° en caballos de doma de nivel *Grand Prix*, considerados de élite. El valor de 22° que hemos observado en el caballo Lusitano se sitúa bastante por debajo de aquellos valores, aunque más cercano de los valores presentados por Barrey *et al.* (2002a) (23° para el Silla Francés, 24° para el PRE y 26° para caballos de diferentes razas alemanas).

El muslo debe ser largo y bien inclinado. Holmström (1996, 2001) atribuye una particular importancia a la longitud de esta región, defendiendo que un fémur largo y bien inclinado hacia delante coloca el miembro pelviano más cerca del centro de gravedad del caballo, contribuyendo para un mejor equilibrio y mejor soporte de peso. Los valores obtenidos para la *longitud del muslo* (43,26 cm) en el caballo Lusitano han sido ligeramente superiores a los obtenidos por Holmström *et al.* (1990) y Weller *et al.* (2006), e idénticos al valor obtenido por Barrey *et al.* (2002a) para el caballo PRE. En lo que respecta a la *inclinación del muslo*, nuestro valor (84,45°) es semejante a los valores presentados por Holmström (1994). Este autor refiere ángulos de 84,7° y 84,5° para caballos de doma y de saltos, respectivamente y ángulos superiores (alrededor de los 88°) en caballos con lesiones. La *inclinación del muslo* también repercute en el *ángulo de la babilla*. Magnusson (1985b) y Back *et al.* (1996) afirman que existe una correlación positiva entre este ángulo y los resultados deportivos. En los caballos Lusitanos estudiados, el *ángulo de la babilla* en el instante de apoyo medio del miembro pelviano ha sido de 140°, lo que es ligeramente inferior al valor obtenido por Cano (1999b) en caballos de Pura Raza Española, y bastante inferior a los valores presentados por Holmström *et al.* (1990) en caballos SWB, pero superior al valor que obtuvieron Weller *et al.* (2006) en Pura Sangre Ingleses, y a los valores publicados por Barrey *et al.* (2002a), que se situaron entre los 123° (Pura Raza Española) y los 128° (razas alemanas).

En nuestro estudio la *longitud media de la pierna* (32,20 cm) es unos 11 cm menor que la longitud del muslo, lo que no se verifica en los resultados de los estudios en el Pura-sangre Inglés y en el SWB. Esta es la medida de longitud en la cual se observa una diferencia de mayor magnitud entre el Lusitano y las otras razas, ya que los demás autores obtuvieron valores superiores a los 50 cm (Holmström, 1994; Barrey *et al.*, 2002a; Weller *et al.*, 2006).

Según Back *et al.* (1996), la mayor abertura del ángulo del tarso esta relacionada con amplitudes de tranco más largas, fases de vuelo más duraderas y un mayor rango del ángulo de retracción-protracción, lo que contribuye para la mejor calidad de los aires. Holmström *et al.* (1990) refieren que el defecto de aplomo “quebrado de corvejones” no se encuentra en caballos de doma clásica de elite. Un ángulo del tarso excesivamente cerrado produce, además de sus implicaciones biomecánicas, una mayor debilidad de las estructuras óseas y tendoligamentosas de la región, que repercute en la capacidad de soporte de carga de los miembros posteriores y predispone al caballo a patologías en dichas estructuras (De Souza, 2000). El *ángulo del tarso* en este trabajo ha sido de 146,7°, lo que es un valor substancialmente inferior al presentado en el Pura Sangre Inglés y en el SWB. De hecho, según Monteiro (1983), ese es un defecto de aplomo frecuente en los caballos Lusitanos. Barrey *et al.* (2002a) obtuvieron ángulos de 150° para el caballo PRE, y significativamente superiores (155° a 157°) para los caballos de otras razas.

En las regiones de la caña y de la cuartilla del miembro pelviano se aprecian generalmente las mismas cualidades referidas para las regiones correspondientes en el miembro torácico. La caña pelviana del caballo es normalmente un poco más larga que la torácica (Forest, 1996), lo que también se ha verificado en nuestros resultados. Observamos que la *longitud de la caña* es idéntica a las de las razas Pura Sangre Inglés y en el SWB, siendo la *longitud de la cuartilla* superior. Teniendo en cuenta la proporcionalidad del caballo y el hecho de que las otras razas analizadas por los distintos autores tienen un tamaño superior, podemos considerar que los caballos

Lusitanos poseen las cañas y las cuartillas relativamente largas. Las cuartillas pelvianas son, al igual que las torácicas, más horizontales en el caballo Lusitano que en las otras dos razas (PSI y SWB).

En resumen, podemos afirmar que, según los resultados de nuestro estudio, y comparando con los datos obtenidos por otros autores en razas de aptitud deportiva, los parámetros morfométricos donde el caballo Lusitano se aleja más de las razas de marcada aptitud deportiva son la longitud e inclinación de la espalda, la inclinación de la grupa y del muslo, y la longitud e inclinación de la pierna, afectando estos segmentos óseos a los ángulos de las articulaciones correspondientes.

1.2. INTERRELACIONES ENTRE VARIABLES MORFOMÉTRICAS

Generalmente, las medidas morfométricas del caballo suelen estar significativamente correlacionadas entre sí (Magnusson, 1985; Anderson *et al.*, 2005; Smith *et al.*, 2006). En nuestros resultados, se observa un número elevado de correlaciones significativas, aunque los valores de r establecidos para las correlaciones entre variables morfométricas sean, en su mayoría, de baja magnitud. Las variables que generalmente se consideran como las que definen el tamaño y la proporcionalidad del caballo (las *alzadas a la cruz* y *al coxal* y la *longitud del tronco*) han manifestado correlaciones positivas significativas moderadas entre ellas, y con las variables referentes a longitudes de segmentos óseos. La correlación con un valor más elevado ha sido la establecida entre la *alzada a la cruz* y la *alzada al coxal*. La *alzada a la cruz* no ha establecido correlaciones de valor negativo con ninguna otra variable, sea referente a longitudes o a inclinaciones, al igual que los resultados obtenidos por Weller *et al.* (2006). Así mismo, también coincidimos en la existencia de una correlación significativa de valor negativo entre la *longitud del brazo* y la *longitud del antebrazo*, una correlación significativa positiva entre la *longitud de las cuartillas torácica y pelviana* y entre la *longitud de las cañas torácica y pelviana*. Sin embargo, Weller *et al.* (2006) han observado una correlación significativa negativa entre la *longitud de la grupa* y la *longitud del tronco*, mientras que en nuestro estudio la correlación significativa existe, pero es de valor positivo ($r = 0,65$).

No ha sido posible explicar la variación en la morfología de los caballos a través de un pequeño número de factores, necesiándose la interacción compleja de todos los caracteres morfométricos. Así mismo, el componente que explicó un porcentaje superior de la varianza (16,5%) ha reunido las variables corporales relacionadas con la dimensión y proporcionalidad del caballo, como las *alzadas a la cruz* y *al coxal*, y las *longitudes del tronco* y *del dorso*. En cuanto al segundo componente, que explicó el 14,3% de la varianza, ha agrupado un conjunto de variables relacionado con las regiones más proximales del caballo, como las *longitudes de tronco, dorso y grupa*, y las *inclinaciones de la espalda y del muslo*.

El hecho de que la explotación de procedencia haya influenciado significativamente algunas de las variables morfométricas puede ser un indicador de que existen diferencias morfológicas entre los animales elegidos para distintas actividades. En el análisis canónico realizado para los caracteres morfométricos, el eje uno ha permitido distinguir claramente el grupo de animales con aptitud *doma* de los demás, siendo que las variables que aportaron un peso superior han sido las referentes a las regiones más proximales de los miembros, como la *longitud de la grupa* ó la *inclinación del muslo*. Este resultado esta aparentemente de acuerdo con la elevada importancia de estas

variables en la calidad y amplitud de los aires, parámetros importantes en la doma clásica. En el análisis de varianza verificamos que los animales del grupo *doma* tienen *inclinaciones de la espalda y del muslo* significativamente superiores, lo que está de acuerdo con los trabajos de Holmström *et al.* (1990), y *longitudes del tronco y de la grupa* significativamente inferiores a los demás grupos, lo que es contradictorio con las afirmaciones de este autor, principalmente en cuanto a la *longitud de la grupa*, para la cual no hemos podido encontrar una justificación satisfactoria.

El eje dos distinguió los animales con aptitud *rejoneo*, aunque con menos claridad. En ello han influido más las variables relacionadas con las extremidades, como la *longitud de la cuartilla torácica* ó la *inclinación de las cuartillas torácica y pelviana y de la caña pelviana*. Parece ser que los animales de este grupo presentan cuartillas torácicas más cortas y verticales y cuartillas pelvianas más inclinadas. Así mismo, estos resultados deben ser interpretados con reservas, ya que esta última variable es la única que presenta valores significativamente diferentes en el ANOVA.

2. PATRÓN LOCOMOTOR DEL TROTE DEL CABALLO LUSITANO

La importancia del estudio de patrón locomotor está relacionada con el hecho de que para cada modalidad ecuestre, el caballo adopta un tipo de locomoción específica, donde sus características individuales determinan el nivel de rendimiento que podrá obtener (Barrey, 1992). Esto se ha confirmado en estudios recientes (Leleu *et al.*, 2005), que refieren diferencias locomotoras cuantificables en caballos trotones de diferentes niveles de competición.

La metodología de análisis videográfico en tres dimensiones, aplicada para el estudio de variables biocinemáticas, permite minimizar los errores propios de la metodología en dos dimensiones (proyección de los marcadores colocados en el caballo en el plano bidimensional cuando el animal se aleja del plano de calibración), tal como se ha demostrado en un estudio preliminar a esta Tesis (datos no publicados). En este estudio se ha optado por emplear la metodología de la videografía en 3 dimensiones, aplicada a la recogida de datos cinemáticos en condiciones de campo. Esta opción tiene ventajas y desventajas frente a la recogida de datos en condiciones experimentales (en un tapiz rodante). Si es verdad que el empleo de un tapiz rodante nos permite controlar condiciones de ensayo como puede ser la velocidad, lo que nos reduce en gran medida las fuentes de variabilidad extrínsecas al animal, el hecho de que este tipo de experimentos conlleve el desplazamiento de los animales hacia el local de ubicación del laboratorio tiene el inconveniente de implicar un aumento sustancial del coste del ensayo, lo que puede constituir un obstáculo cuando el objetivo sea estudiar un número elevado de animales. Además, el tapiz rodante siempre implica un período de adaptación de los animales, que necesita al menos dos sesiones de entrenamiento (Buchner *et al.*, 1994, *apud* Galisteo *et al.*, 1998), siendo necesario que los locales o centros reúnan un conjunto de condiciones físicas importantes para poder acoger a los animales. La otra desventaja del tapiz rodante, principalmente en un estudio de caracterización del patrón locomotor, es que tiene influencia sobre algunas características locomotoras, como la amplitud de tranco, la duración de la fase de apoyo ó el ángulo de retracción (Barrey *et al.*, 1993a; Buchner *et al.*, 1994).

No existen datos cuantitativos publicados sobre la biocinemática del caballo Lusitano, siendo este el primer trabajo que aborda ese estudio en la raza, siendo por ello necesario

comparar nuestros resultados con los resultados obtenidos en otras razas equinas. La velocidad media que adoptaron los caballos en nuestro trabajo (3 m/s) se corresponde con la que de forma espontánea adoptaron caballos de Silla Francés al trote guiado de la mano (Deguerce *et al.*, 1997) por su comodidad (Linford, 1994) y que es utilizada con frecuencia para el examen clínico de cojeras (Clayton, 1986). Sin embargo, en otros estudios realizados en caballos al trote guiado de la mano, la velocidad media ha sido más cercana a los 4 m/s (Galisteo *et al.*, 1997; Galisteo *et al.*, 1998; Morales *et al.*, 1998a; Cano *et al.*, 2000). La mayor dimensión de la muestra de nuestro estudio y el hecho de que la recogida de datos se hizo en condiciones de campo (incluso con diferentes tipos de pista), puede contribuir para justificar que el rango de velocidades observadas varíe entre los 2,13 y los 4,44 m/s. El coeficiente de variación interindividual ha sido cercano al 15%, lo que es un valor superior al observado por Cano (1999b), mientras que el valor del coeficiente de variación intraindividual ha sido de 7%, lo que es poco superior al valor de 6% observado por dicho autor.

2.1. PARÁMETROS LINEALES

En nuestro estudio, la variabilidad interindividual ha sido superior a la observada por Cano (1999b) en caballos de Pura Raza Española y por Deguerce *et al.* (1997) en el Silla Francés, para la *amplitud de tranco*, pero inferior a la variabilidad observada por Cano (1999b) para la *longitud de la sobrehuella*. En lo que respecta a la variación interindividual, se debe tener en cuenta que estos estudios se realizaron con muestras que representan el únicamente 20% de los individuos estudiados en esta Tesis. Sin embargo, el estadístico que considera la dimensión de la muestra (el error típico de la media) se situó en esta Tesis por debajo del valor presentado por Cano (1999b). En cuanto a los coeficientes de variación intraindividuales, estos son de la misma magnitud de los referidos por este autor para la *amplitud de tranco*, pero bastante inferiores para la *longitud de la sobrehuella*.

Los valores de la *amplitud del tranco* han sido cercanos a los 220 cm. Estos valores son inferiores a los obtenidos por otros autores en diferentes razas de silla con velocidades cercanas a los 4 m/s (Galisteo *et al.*, 1997; Cano *et al.*, 2000; Cano *et al.*, 2001; Miró *et al.*, 2006), y más cercanos al valor obtenido por Barrey *et al.* (2002a), a una velocidad de 3,2 m/s. La relación entre la velocidad y los parámetros lineales, particularmente la *amplitud de tranco*, ha sido ampliamente discutida por otros autores (Galisteo *et al.*, 1998; Morales *et al.*, 1998a; Cano *et al.*, 2001). Nuestros resultados han demostrado un buen ajuste lineal ($r = 0,91$) de la relación entre la velocidad y la *amplitud del tranco*, superior al valor obtenido por Galisteo *et al.* (1998) ($r = 0,82$), y inferior al que refieren Leleu *et al.* (2002) ($r = 0,99$). Si corregimos la *amplitud de tranco* en función de la velocidad, empleando las ecuaciones de regresión que se presentaron en el apartado de resultados (tabla 3.28), concluimos que, por ejemplo, para una velocidad media de 3,9 m/s, la que obtuvieron Cano *et al.* (2001), las *amplitudes del tranco torácico y pelviano* serían, previsiblemente, de 268 cm y 274 cm, para los miembros torácico y pelviano, respectivamente, representando valores muy cercanos a los referidos en dicho trabajo.

En cuanto a la *longitud de la sobrehuella*, es un parámetro importante a la hora de evaluar los movimientos del caballo. Está generalmente asumido que en caballos proporcionados, cuanto más se sobrepase la huella (sobrehuella positiva), mayor peso descarga el caballo sobre su tercio posterior (Cano, 1999b). Cano *et al.* (2000) no observaron diferencias significativas de este parámetro en caballos PRE tras un período

de 10 meses de entrenamiento. Este dato, y la baja variación intraindividual que hemos obtenido (3,23%), permiten asumir que este parámetro sea relativamente característico de cada individuo. El valor medio de -10,81 cm obtenido en el caballo Lusitano está situado dentro del rango de valores publicados para el caballo de Pura Raza Española, aunque sea inferior a los valores recogidos en otras razas, como el Anglo-árabe y el Árabe (Cano *et al.*, 2001) ó el Sangre Caliente Holandés (Galisteo *et al.*, 1997). Así mismo, en nuestro trabajo se evidencia que la velocidad influyó significativamente la *longitud de la sobrehuella* ($r^2 = 0,52$), lo que está de acuerdo con los resultados de Galisteo *et al.* (1998). Por ello, seguramente si nuestro ensayo hubiera sido conducido a una velocidad más elevada, posiblemente hubiéramos obtenido un valor superior para dicha variable.

La *distancia de bajo masa del tarso* demostró una variabilidad intraindividual muy elevada en nuestro estudio, con un valor superior a 30%. Esto supone una gran irregularidad para esta variable, lo que reduce su valor como parámetro de caracterización locomotora.

La *máxima elevación de la corona* ha sido superior a los valores descritos por Valera *et al.* (2007). También se verifica que, proporcionalmente, los caballos Lusitanos han elevado más las extremidades del miembro pelviano que los caballos de Pura Raza Española analizados por estos autores. En estas diferencias puede haber contribuido el hecho de que aquel estudio se hizo en tapiz rodante y a una velocidad superior.

2.2. PARÁMETROS TEMPORALES

En nuestro estudio, los coeficientes de variación de los parámetros temporales en los dos miembros han sido de la misma magnitud que los obtenidos por Cano (1999b) en el caballo de Pura Raza Española. Las variables con coeficientes de variación más elevados, tanto a nivel intraindividual como entre individuos, han sido las relativas a la duración de los componentes de la fase de apoyo (fase de frenada y fase de propulsión).

La *duración del tranco* en nuestro estudio ha sido superior a los valores publicados para caballos de Pura Raza Española (Morales *et al.*, 1998a; Cano *et al.*, 2000; Miró *et al.*, 2006), pero inferiores a los valores de razas como el Sangre Caliente Holandés (Galisteo *et al.*, 1997) o el Sangre Caliente Sueco (SWB) (Holmström *et al.*, 1994). Comparando con los resultados en caballos PRE, este dato es aun más significativo si consideramos que las velocidades en nuestro estudio han sido inferiores. Una duración de tranco larga es sinónimo de una frecuencia de tranco inferior, lo que se considera generalmente un indicador de la buena calidad del aire (Holmström *et al.*, 1994).

El aumento de la velocidad se obtiene a partir de un aumento de la frecuencia de tranco, lo que implica una reducción de la duración de tranco por disminución de la duración de la fase de apoyo (Muir *et al.*, 1991). La *duración de la fase de apoyo* está muy influenciada por la velocidad (Galisteo *et al.*, 1998), mientras que la *duración de la fase de vuelo* parece no verse afectada (Morales *et al.*, 1998a). La *duración de la fase de vuelo* al trote suele ser un parámetro bastante estable en cada caballo, manteniéndose incluso a lo largo del crecimiento (Back *et al.* 1995a). Nuestros resultados están de acuerdo con los de estos autores, ya que la influencia de la velocidad se ha visto bastante reflejada en la *duración de la fase de apoyo*, con coeficientes de determinación de 0,48 y 0,40, para el miembro torácico y pelviano, respectivamente, pero no en la *duración de la fase de vuelo* (anexo 2). Los coeficientes de variación intraindividual también han sido inferiores para la *duración de la fase de vuelo*, tanto en el miembro

torácico como en el pelviano. En estudios realizados en otras razas, la fase de apoyo parece representar un porcentaje inferior del tranco (Holmström *et al.*, 1995; Galisteo *et al.*, 1997; Cano *et al.*, 2001b), aunque todos estos estudios se hayan realizado con velocidades superiores a la de nuestro ensayo, lo que puede haber influido en los resultados.

Comparando con otros trabajos (Cano *et al.*, 1999; Cano *et al.*, 2001b) realizados en caballos PRE, el *instante de apoyo medio* ha ocurrido ligeramente más tarde, en relación al porcentaje del tranco, lo cual parece indicar una *fase de frenada* proporcionalmente más larga. De hecho, cuando comparados con los resultados de Morales *et al.* (1998a) en PRE, el porcentaje de tranco ocupado por la *fase de frenada* en nuestro estudio ha sido superior, particularmente en lo que respeta al miembro torácico. El *instante de la máxima elevación* de las lumbres también ha ocurrido un poco más tarde en el tranco en nuestro estudio que en el trabajo de Morales *et al.* (1998b). En esta Tesis, tanto el *instante de apoyo medio* como el *instante de la máxima elevación* se han visto moderadamente afectados por la velocidad ($r = -0,25$ y $r = -0,28$, respectivamente, para el miembro torácico y $r = -0,55$ y $r = -0,35$ para el miembro pelviano). Galisteo *et al.* (1998) obtuvieron coeficientes de correlación semejantes para el *instante de apoyo medio* en los dos miembros, pero de valor positivo (aunque con la misma magnitud) para el *instante de elevación máxima* de las lumbres.

Los resultados de Morales *et al.* (1998a; 1998b) refieren duraciones de la *fase de frenada* ligeramente superiores en caballos bastante entrenados, así como un adelantamiento del *instante de elevación máxima*. Cano *et al.* (2000) observaron el adelantamiento relativo del *instante de apoyo medio* y del *instante de elevación máxima* en caballos PRE tras 10 meses de entrenamiento. Estos resultados parecen indicar que los caballos en este estudio pueden tener un nivel medio de entrenamiento que haya influido sobre estas variables.

2.3. PARÁMETROS ANGULARES

En nuestro trabajo, los coeficientes de variación de los parámetros que pretenden identificar el *instante del tranco* en que ocurre un determinado evento (la *máxima flexión* o la *máxima extensión*) se presentaron en general con valores muy elevados. Cano (1999b) justifica este hecho por pequeñas diferencias reales en el momento en que ocurre un mismo evento, que pueden repercutir en la determinación del porcentaje de tranco, al colocar dicho evento, por ejemplo, en el inicio de un tranco y en el final del tranco siguiente.

Los diagramas ángulo-tiempo (figuras 3.4 a 3.7) muestran que la desviación típica de algunos de los ángulos e inclinaciones en estudio fue mayor durante la fase de vuelo. Cano (1999b) obtuvo resultados semejantes en caballos de Pura Raza Española. En ambos trabajos este fenómeno ha sido más evidente en el miembro torácico que en el miembro pelviano. Asociada a esta variabilidad interindividual, Van Weeren *et al.* (1993) refieren el carácter marcadamente individual y repetitivo de los patrones exhibidos por las trayectorias de los cascós del miembro torácico del caballo, sugiriendo que éstos puedan representar una “huella dactilar” del caballo (Cano, 1999b).

Los coeficientes de variación intraindividuales de los *rangos medios de variación angular* (RMV) son inversamente proporcionales al grado de movilidad de la articulación o segmento óseo en cuestión. Así, observamos los CVi más elevados en la articulación del hombro y en las inclinaciones de la escápula y de la pelvis, y los más

bajos en la articulación del carpo y en la inclinación de la cuartilla torácica. Sin embargo, si analizamos los valores absolutos de las desviaciones estándar para el *rango medio de variación* de cada articulación, verificamos que son menores (entre 2 y 3°) para las articulaciones más proximales (hombro y cadera) y mayores para las más distales. Estos resultados están de acuerdo con los de Deguerce *et al.* (1997) en caballos de Silla Franceses.

Dentro de las variables angulares, la *inclinación del cuello* fue la que presentó resultados más heterogéneos, en todas las variables analizadas. Para todas las variables excepto dos, los coeficientes de variación intraindividual han sido superiores a los coeficientes de variación entre individuos. El cuello sufre muy probablemente la influencia de la reacción del caballo a los estímulos ambientales (ruidos, movimientos, etc.) llevándole a dirigir sus órganos de los sentidos tras el origen de dichos estímulos y, con el movimiento de la cabeza, a alterar la inclinación del cuello. Las condiciones de laboratorio (*treadmill*) permitirán probablemente la obtención de resultados más fiables para el estudio biocinémático del cuello, al permitir un mayor control de las condiciones ambientales.

Comparando los resultados obtenidos para las diferentes variables angulares de nuestro estudio con los trabajos de otros autores en otras razas (Galisteo *et al.*, 1997; Morales *et al.*, 1998b; Cano *et al.*, 2001b; Miró *et al.*, 2006), verificamos que, en lo que respecta a la *inclinación de la espalda*, las diferencias son, en general, de baja magnitud. Sin embargo, en cuanto a la *articulación del hombro*, el caballo Lusitano presentó valores bastante inferiores para los *ángulos máximo y mínimo*, en el *inicio del apoyo y de la elevación*, diferencias que están probablemente relacionadas con características morfológicas (Holmström *et al.*, 1993). Sin embargo, en lo que toca al *rango de variación medio angular*, los resultados son idénticos a los de Miró *et al.* (2006) en el caballo de Pura Raza Española, aunque inferiores a los de los demás autores. Lo mismo pasa con la *articulación del codo*, donde para el RMV los valores del Lusitano se presentan inferiores a los valores obtenidos en el caballo de Pura Raza Española por Galisteo *et al.* (1997), Morales *et al.* (1998b) y Cano *et al.* (2001b), pero ligeramente superiores a los valores de Miró *et al.* (2006) para esa misma raza, a los de Galisteo *et al.* (1997) para caballos de Sangre Caliente Holandés y a los de Cano *et al.* (2001b) para caballos Árabes y Anglo-árabes.

Para las *articulaciones del carpo y del menudillo torácico*, las principales diferencias se observan en el *ángulo mínimo* y en el *rango de variación medio angular*. Los caballos de nuestra muestra exhibieron ángulos mínimos superiores a los del caballo PRE, y inferiores a los de los caballos de Sangre Caliente Holandés, Árabes y Anglo-árabes, o sea, flexionaron menos esas articulaciones que los caballos PRE, y más que los caballos de otras razas. Por ello, el RMV es inferior a los valores publicados para el PRE, e superior a los valores de las otras razas.

En lo que respecta al *ángulo de protracción-retracción del miembro torácico*, tanto su valor *máximo* como su valor en el *inicio de la elevación* han sido inferiores a los resultados obtenidos por otros autores.

Las variables angulares del miembro pelviano mostraron pocas diferencias comparadas con los trabajos de otros autores (Morales *et al.*, 1998b; Cano *et al.*, 2001b; Miró *et al.*, 2006), lo que parece reiterar la afirmación de la existencia de una mayor variabilidad entre individuos para los parámetros cinemáticos del miembro torácico que para los del miembro pelviano (Cano, 1999b). Los valores fueron prácticamente idénticos para la *inclinación de la pelvis*, la *articulación del tarso* y el *ángulo de protracción-retracción*

del miembro pelviano. Para las *articulaciones de la cadera y de la rodilla*, los valores de *rango medio de variación angular* fueron inferiores a los de Morales *et al.* (1998b) y Cano *et al.* (2001b) en caballos de Pura Raza Española, pero idénticos a los de Miró *et al.* (2006) en la misma raza.

La velocidad influyó los *rangos de variación articular* de las articulaciones del *hombro, cadera y tarso*, así como los *ángulos máximos de protracción-retracción* en los *miembros torácico y pelviano*, con coeficientes de correlación positivos. El *ángulo máximo de protracción-retracción pelviano* en particular ve su variabilidad explicada en un 45% (r^2) por la velocidad. Estos resultados están de acuerdo con los de Galisteo *et al.* (1998) y contribuyen para explicar las diferencias observadas cuando comparamos nuestros resultados para estas variables con los resultados de otros trabajos realizados a velocidades superiores.

Como la *explotación de procedencia* también influyó significativamente algunas variables, decidimos por ello realizar un análisis canónico según el factor *aptitud*. Sin embargo, dado que la influencia de la *velocidad* se reveló determinante para las variables biocinémicas, ejecutamos también un análisis de covarianza donde se consideró la velocidad como covariable (anexo 3b).

En el análisis canónico, el eje uno distinguió con claridad el grupo *aptitud indeterminada* del grupo *doma*. En este eje han influido sobretodo variables relacionadas con el miembro pelviano del caballo. Si observamos los resultados del análisis de covarianza verificamos que para la *longitud de la sobrehuella* las diferencias observadas se deben a la variación de la *velocidad* entre los grupos. Así mismo, para el *ángulo máximo de protracción-retracción pelviano* la *velocidad* ha tenido influencia, pero la *aptitud* también ha influido significativamente y para el *ángulo mínimo de protracción-retracción* y para la *máxima elevación del casco pelviano* ha sido fundamentalmente la *aptitud* el factor que ha condicionado las diferencias observadas. Cano *et al.* (2000) obtuvieron diferencias significativas para los *ángulos máximo y mínimo de protracción-retracción* en caballo de Pura Raza Española tras un período de entrenamiento. Es probable que el entrenamiento a que han estado sujetos los animales del grupo *doma* haya contribuido para enmarcar estas diferencias, ya que los animales del grupo *aptitud indeterminada* son en general animales con poco entrenamiento.

En cuanto al eje dos (figura 3.14) admitimos que distingue más el grupo *rejoneo* de los dos otros grupos, aunque las elipses se solapan bastante. Este eje está más influenciado por las *elevaciones máximas del casco* de los miembros *torácico y pelviano* y por las *duraciones de la fase de apoyo y de la fase de vuelo* del miembro *pelviano*. En el análisis de covarianza verificamos que en todas estas variables el efecto *aptitud* ha sido responsable de las diferencias encontradas en los promedios del grupo *doma* y del grupo *rejoneo*. Para la diferencia observada en la *duración de la fase de apoyo* contribuyo también la *velocidad* (que ha sido inferior en el grupo *rejoneo*). Cano *et al.* (2000) refieren un aumento significativo de la *fase de vuelo* como resultado del entrenamiento. En nuestro caso, más que el efecto del entrenamiento, es posible que sea el efecto de los diferentes tipos de entrenamiento el responsable por algunas de las diferencias observadas. No hemos encontrado en la bibliografía consultada datos referentes a la influencia del entrenamiento sobre la *elevación máxima del casco*. Holmström *et al.* (1995) refieren la influencia de la concentración de los aires en la trayectoria de los cascos del caballo. Sabemos que la doma clásica y el rejoneo se caracterizan por estilos de equitación bastante distintos. Así, mientras que en la doma clásica privilegia los movimientos amplios y progresivos, en el rejoneo se caracteriza por cambios rápidos de

velocidad, alternados con períodos de inmovilidad y concentración delante de una entidad – el toro – que representa una posible amenaza. Esto justifica que incluso el tipo de bocados utilizados por los rejoneadores sea bastante más activo en la boca del caballo, permitiendo sostenerle con más efectividad. Es posible que la elevación de la trayectoria de los cascos sea una consecuencia de esta restricción del movimiento progresivo, aunque no tenemos datos que nos permitan afirmarlo de forma categórica.

2.4. INTERRELACIONES ENTRE VARIABLES BIOCINEMÁTICAS

Las *amplitudes de tranco torácico y pelviano* y la *longitud de la sobrehuella* establecieron entre sí correlaciones fuertes ($r > 0,8$). Las *duraciones de la fase de apoyo* en los dos miembros se correlacionaron positivamente entre sí y negativamente con las duraciones de la fase de vuelo. Estas correlaciones eran esperadas, dada la simetría del aire y la forma como la velocidad influye sobre estas variables. La *máxima elevación de la corona torácica* también estableció una correlación moderada con la *máxima elevación de la corona pelviana*. En cuanto a las variables angulares, el *ángulo máximo de protracción-retracción pelviano* estableció correlaciones moderadas de valor positivo con el *ángulo mínimo de protracción-retracción pelviano*, las dos *amplitudes de tranco*, la *longitud de la sobrehuella* y el *rango medio de variación de la articulación de la cadera*. Esta última variable también se correlacionó moderadamente con la *amplitud del tranco pelviano*, lo que confirma la importancia que le atribuyen Holmström *et al.* (1994) en la buena calidad de los aires. Por otro lado, también se verificaron correlaciones moderadas entre el *rango medio de variación de la articulación del codo* y la *máxima elevación de la corona torácica*, y entre los *rangos medios de variación de las articulaciones de la rodilla y del tarso*. Esta última relación esta probablemente relacionada con la presencia del mecanismo del aparato recíproco del miembro pelviano del caballo, constituido por los músculos tercer fibular por la cara dorsal y flexor digital superficial por la cara plantar (Badoux, 1999) y que implica la flexión simultánea de las articulaciones de la rodilla y del tarso.

En el análisis de componentes principales, las variables que han influido más sobre el primer componente, que explicó el 28,39% de la varianza, han sido simultáneamente las variables más influenciadas por la velocidad, concretamente las variables lineales y el ángulo máximo de protracción-retracción pelviano (ver tablas 3.27 y 3.28), confirmando una vez más la importancia de este factor en la locomoción del caballo. Las variables que han influido más sobre el segundo componente, que explicó el 17,02% de la varianza, han sido las variables angulares, menos afectadas por la velocidad.

3. INTERRELACIÓN ENTRE LA MORFOMETRÍA Y LA LOCOMOCIÓN

Como hemos referido anteriormente, parte del interés de la evaluación morfométrica es la detección de caracteres morfológicos que sean buenos indicadores de la calidad locomotora. Sin embargo, la conformación ideal no existe, incluso en ocasiones un carácter es favorable para un determinado parámetro locomotor y perjudicial para otro (Back *et al.*, 1996). Barrey *et al.* (2002a) refieren que las diferencias morfológicas pueden ser responsables de determinadas características de la locomoción, aunque la morfología aisladamente no explica la aptitud para el salto o la doma.

En nuestro estudio, las correlaciones significativas entre estos dos grupos de variables (biomecánicas o locomotoras y morfométricas) han sido moderadas a débiles, lo que coincide con los resultados de Koenen *et al.* (1995). La *inclinación de la espalda* se correlacionó significativamente con la mayoría de las variables biocinemáticas, lo que contribuye a reafirmar la importancia que autores como Holmström *et al.* (1990) o Back *et al.* (1996) atribuyen a este carácter. Otra variable morfométrica que estableció un número elevado correlaciones significativas con características biocinemáticas ha sido la *longitud de la grupa*, que se ha correlacionado negativamente con el *ángulo de máxima retracción* (MPRP) y el *ángulo de máxima protracción* (mPRP) del miembro pelviano. Inversamente, la *inclinación de la grupa* y la *inclinación del muslo* se correlacionaron positivamente con estos dos parámetros. Back *et al.* (1996) refieren que cuanto más reducidos sea estos ángulos, más se remete bajo el tronco del caballo el miembro posterior, lo que es favorable al recogimiento o concentración del aire. Nuestros resultados parecen confirmar que una grupa larga y más horizontal y un muslo más dirigido hacia delante benefician dicha concentración, lo que esta de acuerdo con las afirmaciones de Holmström (1996; 2001).

4. CARACTERIZACIÓN GENÉTICA

La heredabilidad media del rendimiento deportivo para la doma clásica es generalmente baja (entre 0,04 y 0,27), debido a la importancia de los efectos ambientales, como el entrenamiento, en el resultado deportivo del caballo. Consecuentemente, los métodos de selección tempranos basados en características morfológicas o locomotoras pueden ser más eficaces en producir resultados que la selección basada en los resultados deportivos (Barrey *et al.*, 2002a).

En el caso particular del caballo Lusitano, se añade a la dificultad de seleccionar sobre el rendimiento deportivo el hecho de que hasta muy recientemente la aptitud deportiva para la doma no representaba el principal objetivo de la cría y consecuentemente, los datos referentes a rendimiento deportivo son todavía bastante escasos. Por todo esto, la búsqueda de caracteres indirectos de selección para la aptitud deportiva puede revelarse extremadamente importante en la mejora del caballo Lusitano.

En la estimación de los parámetros genéticos en este trabajo, los errores estándar asumen valores relativamente elevados, provocados por el bajo número de animales analizados. En realidad, los elevados costes económicos y la morosidad de los procedimientos de recogida y análisis de los datos dificultan la utilización de un número elevado de animales (Valera *et al.*, 2007).

Los valores de heredabilidad de las variables morfométricas en nuestro estudio se han situado dentro del rango de valores publicados por otros autores (ver tabla 1.5). En general, y coincidiendo con Miserani *et al.*, (2002) las heredabilidades para este tipo de carácter suelen ser moderadas a elevadas.

Hemos obtenido valores superiores a 0,60 para la *longitud* y la *inclinación de la cuartilla torácica*, la *inclinación de la espalda*, la *longitud de la caña pelviana*, la *longitud del tronco* y la *inclinación de la cuartilla pelviana*. Los demás valores se situaron entre los 0,30 y los 0,60, con excepción de las *longitudes del brazo, muslo, cuartilla pelviana y dorso*, de la *alzada al coxal* y de la *inclinación de la cuartilla pelviana*, cuyos valores fueron inferiores al 0,30. Comparando con los estudios en el caballo de Pura Raza Española (Arias, 1997; Molina *et al.*, 1999), en nuestro estudio las heredabilidades de la *alzada a la cruz* ($h^2 = 0,38$) y de la *longitud del tronco* ($h^2 = 0,60$)

han sido inferiores. De entre las variables morfométricas, la *longitud del tronco* y las *inclinaciones del muslo y de la pierna* han sido las que establecieron más correlaciones genéticas de valor elevado con otras variables.

En cuanto a las estimaciones de heredabilidad para las variables biocinémicas estudiadas, son muy escasos y recientes los trabajos publicados (Valera *et al.* 2007; Molina *et al.*, 2008). Los valores obtenidos en nuestro estudio han sido significativamente más bajos que los de Valera *et al.* (2007) en el caballo de Pura Raza Española. Probablemente para ello ha contribuido, de entre otros factores, el hecho de que estos autores obtuvieron sus resultados bajo condiciones experimentales, en tapiz rodante, a una velocidad controlada de 4 m/s. Como hemos referido anteriormente, la *velocidad* influye de forma significativa en un elevado número de variables biocinémicas del trote. La variabilidad introducida en nuestro estudio por las diferentes velocidades adoptadas por los caballos puede haberse repercutido en los valores de heredabilidad, aunque en realidad hemos corregido para el factor *velocidad*, así que en parte depuramos este factor de error.

A las variables lineales *amplitud de tranco (torácico y pelviano)* e *longitud de la sobrehuella* se les estimaron heredabilidades moderadamente elevadas (h^2 entre 0,43 y 0,64), aunque inferiores a los de Valera *et al.* (2007) ($h^2 = 0,66$ y $0,87$, para la amplitud de tranco torácico y pelviano). A la *máxima elevación de la corona* se le estimó una heredabilidad de 0,31 para el *miembro torácico* y de 0,07 para el *miembro pelviano*, lo que contrasta con los valores de Valera *et al.* (2007), de 0,88 y 0,45, respectivamente. Estas diferencias podrán explicarse por la influencia de los efectos ambientales, en concreto, la *velocidad* (que hemos referido anteriormente) y el *tipo de pista* (ya que la *máxima elevación de la corona pelviana* ha sido una de las variables afectadas por este factor). Pero el factor que probablemente influyó más en esta diferencia podrá ser el *entrenamiento* (y su relación con la *aptitud*), pues como se ha referido, este factor ha influido sobre la *máxima elevación de la corona torácica y pelviana*, entre otras variables. Además, el rango de edades en nuestro estudio tiene un límite máximo superior al del estudio de Valera *et al.* (2007). El hecho de que existan animales de edades superiores en nuestra muestra puede contribuir para que el efecto del entrenamiento sea más reseñable.

En cuanto a la heredabilidad de las variables temporales, las *duraciones de la fase de apoyo y de vuelo en el miembro torácico* han mostrado valores bajos, lo que contrasta con los elevados valores obtenidos por Valera *et al.* (2007). En cambio, en el *miembro pelviano*, la heredabilidad de la *duración de la fase de apoyo* ha sido de 0,77 y la de la *duración de la fase de vuelo* ha sido de 0,75, lo que está más de acuerdo con los resultados de los autores consultados. Aunque la *velocidad*, en nuestro estudio, influye sobre la *duración de la fase de apoyo*, tanto del miembro torácico como del miembro pelviano, la *duración de la fase de vuelo torácico* también sufre la influencia de otros factores (aunque con menor intensidad) como la *tipo de pista* y la *aptitud* (que asociamos al entrenamiento). Esto puede ayudar a explicar las diferencias observadas en los valores de heredabilidad del miembro torácico, aunque no lo justifique completamente.

En lo que respecta a las variables angulares del miembro torácico, hemos obtenido valores muy elevados para el *rango medio de variación angular (RMV) del codo* ($h^2 = 0,77$) (aunque inferior a los 0,86 de Valera *et al.*, 2007) y para el *RMV del carpo* ($h^2 = 0,88$). Estas variables no se han modificado con el entrenamiento en caballos de Pura Raza Española (Cano *et al.*, 2000). La heredabilidad del *RMV del hombro* ha sido baja

($h^2 = 0,16$), y la del RMV *del menudillo torácico* ha sido moderadamente elevada ($h^2 = 0,53$). Los *ángulos máximo y mínimo de protracción-retracción* también exhibieron valores muy elevados ($h^2 = 0,78$ y $0,72$, respectivamente). Valera *et al.* (2007) obtuvieron para el *ángulo máximo de protracción-retracción torácico* un valor bastante más bajo ($h^2 = 0,38$).

En el miembro pelviano, se estimó un valor de heredabilidad de 0,37 para el RMV *de la babilla*, bastante inferior al 0,74 obtenido por Valera *et al.* (2007). Sin embargo, el valor obtenido para el RMV *del tarso* ($h^2 = 0,54$) ha sido bastante similar al obtenido por los citados autores. El valor del RMV *de la cadera* ha sido de 0,51, y la del RMV *del menudillo pelviano* de 0,65. Los *ángulos máximo y mínimo de protracción-retracción* obtuvieron valores de 0,65 y 0,66, respectivamente, mientras que Valera *et al.*, (2007) estimaron un valor de 0,33 para el *ángulo mínimo de protracción-retracción pelviano*.

En cuanto a las correlaciones genéticas, la *máxima elevación de la corona* mostró correlaciones positivas fuertes con todos los RMV de las articulaciones del miembro torácico y negativas con los *ángulos máximo y mínimo de protracción-retracción*. En este caso, parece existir una asociación de la elevación del movimiento con la movilidad articular, por un lado y con el movimiento progresivo del miembro (promovido por la mayor protracción y menor retracción que conllevan las disminuciones de los ángulos máximo y mínimo), por otro. El *rango de variación del codo* también se correlacionó negativamente con el *ángulo mínimo de protracción-retracción torácico*, correlacionándose positivamente con el RMV *del carpo y del menudillo torácico* ($r = 0,74$ y $0,52$, respectivamente). La *duración de la fase de vuelo torácico* se correlacionó positivamente con la *amplitud del miembro torácico* ($r = 0,74$) y *pelviano* ($r = 0,85$), con la *longitud de la sobrehuella* ($r = 0,94$), el *rango de variación de la cadera* ($r = 0,90$) y la *duración de la fase de vuelo pelviano* ($r = 0,65$), y negativamente con los *ángulos máximo y mínimo de protracción-retracción torácicos* ($r = -0,37$ y $-0,88$, respectivamente).

Sobre las correlaciones genéticas entre variables morfométricas y biocinemáticas, destacamos el elevado número de correlaciones que se establecieron entre la *longitud del tronco* y la *inclinación de la pierna* y las variables biocinemáticas. La *inclinación de la espalda* también estableció un número elevado de correlaciones genéticas con las variables biocinemáticas. Así mismo, Koenen *et al.* (1995) refieren correlaciones genéticas de elevada magnitud entre la longitud e inclinación de la espalda y la aptitud para la doma clásica, y entre la longitud e inclinación de la grupa y las variables relacionadas con la locomoción, reafirmando la importancia de estos caracteres morfológicos para el rendimiento deportivo. Los referidos autores también afirman que las bajas correlaciones entre algunas variables se pueden deber a su naturaleza no lineal, o sea, a que tanto valores muy altos como muy bajos de la variable morfométrica pueden ser perjudiciales para el rendimiento. Consecuentemente, las correlaciones genéticas entre las variables morfológicas e el rendimiento son difíciles de interpretar. El valor de la correlación puede ser un indicador de la media de la población en relación al valor óptimo: una correlación positiva significa que la media de la población está por debajo del valor óptimo para ese carácter. Esto puede contribuir para explicar las correlaciones positivas entre la *inclinación de la grupa* y la *amplitud de tranco pelviano* ($r = 0,33$), la *longitud de la sobrehuella* ($r = 0,41$) e el *rango de variación angular de la cadera* ($r = 0,56$), ya que, como se ha referido anteriormente, el valor medio de la *inclinación de la grupa* en nuestro trabajo (22°) se situó por debajo de todos los valores consultados en la bibliografía.

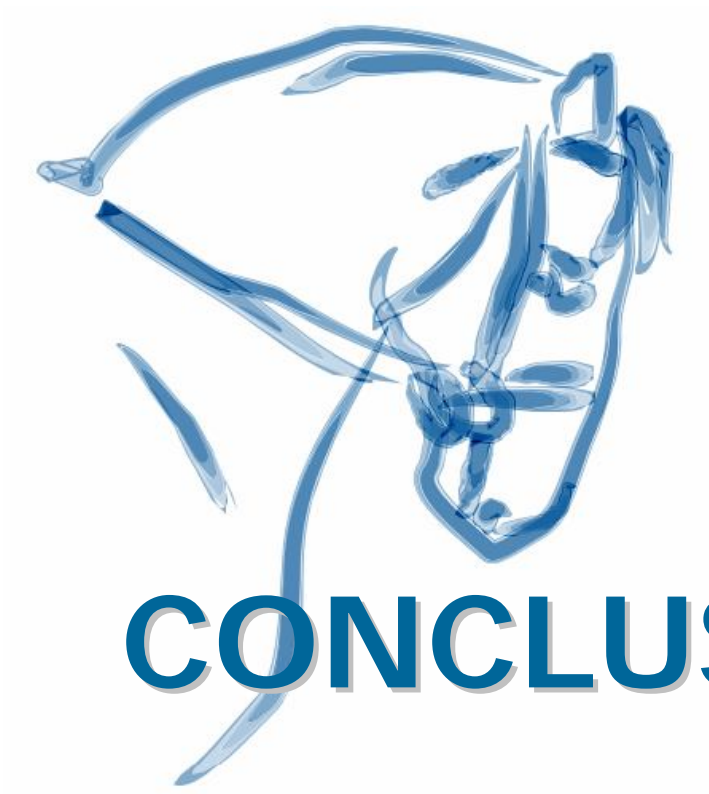
Teniendo en cuenta los resultados de este trabajo, así como las asociaciones que otros autores han establecido entre las variables morfológicas y biocinemáticas y el rendimiento deportivo, podríamos elegir algunas variables como prioritarias a considerar en un futuro Esquema de Selección de raza.

Así, de entre las variables morfométricas, la *longitud del tronco* se destaca por su elevada heredabilidad y por las correlaciones genéticas que esta variable establece con otras variables morfométricas de interés, como la *longitud de la grupa y de la pierna* (correlaciones positivas) y la *inclinación de la grupa y del muslo* (correlaciones negativas). La *longitud del tronco* también se ha correlacionado positivamente con la *amplitud* y la *duración de la fase de vuelo del miembro torácico*, y con el *RMV de las articulaciones del codo y de la babilla*, y negativamente con el *ángulo mínimo de protracción-retracción torácico*.

La *inclinación de la espalda*, referida por varios autores como importante para la doma (Holmström *et al.*, 1990), también sobresale por su elevada heredabilidad y por sus correlaciones positivas con los *ángulos mínimos de protracción-retracción* de los dos miembros. A pesar de su baja heredabilidad y de las correlaciones genéticas débiles, la *inclinación de la pierna* sería otra variable a tener en cuenta, al estar relacionada con el ángulo del tarso, uno de los problemas identificados del caballo Lusitano.

En cuanto a las variables biocinemáticas, probablemente estaría justificada la elección de la *amplitud de tranco pelviano* a incorporar en un Esquema de Selección, tanto por su heredabilidad como por sus correlaciones genéticas positivas fuertes con las otras características lineales y con el *rango de variación de la cadera*. La *duración de la fase de vuelo pelviano*, al tener una heredabilidad elevada y, según Back *et al.* (1995a), al ser un buen indicador precoz de las características locomotoras del caballo, es otra variable a considerar en un Esquema de Selección del caballo Lusitano. Finalmente, también se podría elegir al *ángulo mínimo de protracción-retracción del miembro pelviano*, por su heredabilidad ($h^2 = 0,66$) y por sus correlaciones genéticas negativas con los rangos de variación articular del miembro pelviano.

Este es el primer estudio dedicado a la caracterización de características locomotoras por métodos cuantitativos en la raza Lusitana. Para la inclusión de estas variables en un posible Esquema de Selección de la raza, serían necesarios más estudios, en una muestra de mayor número de animales. Nuestros resultados nos llevan a reconocer las ventajas de la recogida de datos bajo condiciones más controladas, en particular en lo que respecta a la velocidad, a pesar de las desventajas económicas y de consumo de tiempo que conlleva la evaluación de los animales en el tapiz rodante.



CONCLUSIONES

1. Las características morfométricas del caballo de Pura Sangre Lusitano son relativamente similares a las características de otras razas de caballos de silla. No obstante, cuando se comparan con razas de caballos de deporte, y particularmente con caballos especializados en doma clásica, se ponen de manifiesto algunas diferencias reseñables como pueden ser la insuficiente longitud de la espalda y de la grupa, el alejamiento excesivo de los ángulos de inclinación del brazo y del muslo del plano horizontal, la poca longitud de la pierna y el ángulo excesivamente cerrado del corvejón, diferencias todas ellas que hay que tener en cuenta si se quiere mejorar la aptitud deportiva para la doma en esta raza.
2. Las variables morfométricas presentaron entre sí, correlaciones fenotípicas de magnitud baja a moderada, destacando la relación positiva entre las alzadas y las medidas longitudinales del caballo Lusitano, tal como se verifica en otras razas, expresando la proporcionalidad del caballo. En cuanto a los parámetros genéticos de las variables morfométricas en estudio, han mostrado heredabilidades que han oscilado entre $0,07 \pm 0,08$ y $0,81 \pm 0,08$ (*longitud de cuartilla pelviana* y *longitud de caña* respectivamente) y unas correlaciones genéticas de magnitud moderada a alta, estando en ambos casos los valores situados en el rango publicado en otras razas para este tipo de variables. A pesar del carácter preliminar de este estudio morfométrico, consideramos que deben tenerse en cuenta estos parámetros en el posible proceso selectivo del caballo Lusitano, a la espera de obtener un mayor número de datos al incrementar el tamaño poblacional de análisis.
3. A pesar del pequeño tamaño poblacional utilizado, se ha detectado una clara relación entre la aptitud del caballo Lusitano y su morfología, al encontrarse diferencias morfológicas entre los animales que se han seleccionado para la *Doma* y aquellos otros que lo han hecho para el *Rejoneo*. Según nuestros resultados, los animales con aptitud para la *Doma* se han diferenciado principalmente a nivel de las variables relacionadas con el tronco y la porción proximal de los miembros, que son generalmente consideradas importantes para la calidad de los aires, mientras que los animales de aptitud para el *Rejoneo* se han visto influenciados por las variables relacionadas con las regiones distales de los miembros.
4. El patrón biocinemático del trote en la raza Lusitana se asemeja más al del caballo de Pura Raza Española que al de otras razas equinas de marcada aptitud deportiva, especialmente en lo que respecta a las variables lineales y algunas variables angulares del miembro torácico. Nuestros resultados confirman que ambas razas tienden a presentar un grado de flexión más acentuado que las razas europeas de deporte, lo que repercute en las variables lineales, como la amplitud de tranco.
5. Un número significativo de las variables biocinemáticas analizadas se han visto afectadas por la velocidad, llegando a explicar más del 50% de la variación total observada en el caso de las variables *amplitud de tranco (torácico y pelviano)*, *longitud de sobrehuella* y *ángulo máximo de protracción-retracción pelviano*. El relativo tamaño poblacional “elevado” de nuestra muestra y del número de lugares de grabación, en relación a los trabajos publicados sobre el análisis biocinemático en campo, puede explicar la mayor variabilidad encontrada en la velocidad de los caballos analizados en nuestro estudio.

6. El otro factor que influyó significativamente sobre las variables biocinemáticas ha sido la aptitud deportiva del animal, siendo en este caso las diferencias más evidentes entre la subpoblación de animales de *Doma* y la de los animales sin un tipo de entrenamiento específico. Así, los animales de estos dos grupos se han diferenciado principalmente en las variables relacionadas con el miembro pelviano (*ángulo mínimo* y *ángulo máximo de protracción-retracción pelviano* y *máxima elevación de la corona pelviana*). En cambio, las variables que han tenido mayor peso en la diferenciación entre el grupo de animales de aptitud *Doma* con los de *Rejoneo*, han sido la *máxima elevación de la corona pelviana* y la *duración de la fase de apoyo pelviano*. Consideramos que la influencia de la aptitud de los caballos sobre las variables biocinemáticas está principalmente relacionada con el entrenamiento, aunque ese factor no ha podido ser incluido en nuestro análisis.
7. Según nuestros resultados, las variables biocinemáticas se han visto afectadas por las condiciones medioambientales de la finca en la que fue grabado el animal, principalmente por su influencia en la velocidad a la que es medido el caballo. Este hecho, que representa un *handicap* con respecto a los controles en una única finca, se justifica por el interés de incrementar al máximo posible el número de animales analizados, especialmente si tenemos en cuenta las diferentes líneas y aptitudes existentes en el caballo Lusitano. A pesar de esto, consideramos que para realizar una selección genética adecuada sería recomendable la utilización de condiciones experimentales de grabado a ser posible en Centro de Testaje, que permitan el control de la mayoría de factores ambientales, como la velocidad y el tipo de pista. Sería aconsejable también, realizar este estudio biocinemático a una edad lo suficientemente temprana para permitir la expresión genética de estos caracteres, sin la fuerte influencia introducida por el entrenamiento.
8. En cuanto a los parámetros genéticos de las variables biocinemáticas en estudio, se han estimado valores de heredabilidad de magnitud media-alta, y correlaciones genéticas elevadas, lo cual permite asegurar una buena respuesta a la selección en caso de su inclusión como criterios de selección específicos. No obstante, la existencia de elevadas correlaciones genéticas entre algunas de las variables morfológicas y las principales variables biocinemáticas, nos aseguraría también una adecuada respuesta indirecta en el caso de la selección por los caracteres morfométricos analizados en esta Tesis.
9. Por último, y como conclusión general de este trabajo, nuestros análisis han mostrado la existencia de determinadas variables morfométricas y biocinemáticas del trote, en el caballo Lusitano, que reúnen las características necesarias para su introducción en un futuro Esquema de Selección. Así teniendo en cuenta sus heredabilidades y correlaciones genéticas, la importancia que les reconocen distintos autores para la calidad de los aires y las características morfológicas a mejorar en el caballo Lusitano, proponemos como criterios de selección las variables morfométricas *longitud del tronco*, *inclinación de la espalda* e *inclinación de la pierna* y las variables biocinemáticas *amplitud de tranco pelviano*, *duración de la fase de vuelo pelviano* y *ángulo mínimo de protracción-retracción del miembro pelviano*.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADRIAN, M.; GRANT, B.; RATZLAFF, M.; RAY, J.; BOULTON, C., (1977). «Electrogoniometric analysis of equine metacarpophalangeal joint lameness», *Am. J. Vet. Res.*, **38**, p. 431.
- ANDERSON, T.M.; MCILWRAITH, C.W.; DOUAY, P. (2005). «The role of conformation in musculoskeletal problems in the racing Thoroughbred», *Equine Vet J*, **36**, pp. 542-575.
- ANDRADE, R. D', (1939). «Equídeos do fim do Paleolítico e início do Neolítico», *Separata do Instituto de Coimbra*, **94**, 31 pp.
- APARÍCIO, G. (1960). *Exterior de los grandes animales domésticos* (Morfología externa e identificación animal). Imprenta Moderna, Córdoba.
- ARIAS, E. (1997). *Heredabilidad de caracteres morfoestructurales del caballo de Pura Raza Española*. Tesis de licenciatura. Universidad de Córdoba, España.
- ARNASON, T.; VAN VLECK, L.D., (2000). «Genetic improvement of the horse», in: *The Genetics of the Horse*, Eds. Ann Bowling and Anatoly Ruvinsky, CABI Publishing, pp. 473-496.
- ARNASON, T. (1994). *Rapport om Genetiska Analyser av Kvalitetsbedömningar av Svenska Fyråriga Ridbästar 1973-1993*. IHBC AB Knubbo, Morgongava, Sweden.
- BABAN, M.; RASTIJA, T.; CAPUT, P.; KNEZEVIC, I.; STIPIC, N. (1998). «Estimation of heritability of Lipizzaner horses for morphological traits by means of various methods», *Czech. J. Anim. Sci.*, **43**, pp. 299-303.
- BACK, W.; BARNEVELD, A.; BRUIN, G.; SCHAMHARDT, H.C.; HARTMAN, W. (1994). «Kinematic detection of superior gait quality in young trotting warmbloods». *Vet Quart*, **16** (Suppl.), pp. 91-96.
- BACK, W.; BARNEVELD, A.; VAN WEEREN, P.R.; VAN DER BOGERT, A.J. (1993a). «Kinematic gait analysis in equine carpal lameness», *Acta Anat.*, **146**, pp. 86-89.
- BACK, W.; HARTMAN, W.; SCHAMHARDT, H.C.; BRUIN, G.; BARNEVELD, A. (1995b). «Kinematic response to a 70 day training period in trotting Warmbloods». *Equine Vet. J.*, **18** (Suppl), pp. 127-135.
- BACK, W.; SCHAMHARDT, H.C.; BARNEVELD, A. (1996). «The influence of conformation on fore and hind limb kinematics of the trotting Dutch Warmblood horse». *Pferdeheilkunde*, **12** (4), pp. 647-650.
- BACK, W.; SCHAMHARDT, H.C.; HARTMAN, W.; BRUIN, G.; BARNEVELD, A. (1995a). «Predictive value of foal kinematics for the locomotor performance of adult horses», *Res Vet Sci*, **59**, pp. 64-69.
- BACK, W.; VAN DER BOGERT, A.J.; VAN WEEREN, P.R.; BRUIN, G.; BARNEVELD, A. (1993b). «Quantification of the locomotion of Dutch Warmblood foals». *Acta Anat.*, **146**, pp. 141-147.
- BADOUX, D.M. (1999). «Biostática y biomecánica», en: *Anatomía de los animales domésticos de Sisson y Grossman* (Ed. Getty), 5ª edición, Elsevier España, pp. 81.

- BARBOSA, M.; ABREU, J., (1986). «Alguns parâmetros reprodutivos em cavalos Lusitanos e Árabes», *Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias*, LXXXI (478), pp. 147-169.
- BARREY, E. (1992). «Evaluation de l'aptitude sportive chez le cheval: application à la définition de critères précoces de sélection», *INRA Prod. Anim.*, hors série Eléments de génétique quantitative et application aux populations animales, pp. 167-173.
- BARREY, E. (1997), «Locomotion variables», in: *Performance diagnosis of horses*. Wageningen Pers., pp. 72-96.
- BARREY, E. (1999a). «Methods, applications and limitations of gait analysis in horses», *The Veterinary Journal*, **157**, pp. 7-22.
- BARREY, E. (1999b). «Análisis de la locomoción del caballo al galope», en: *III Curso sobre Medicina Deportiva Equina: Locomoción equina*, José Luís López Rivero, Ed., Universidad de Córdoba. Servicio de Reprografía, Córdoba, España, pp. 55-58.
- BARREY, E. (1999c). «Métodos de análisis de la locomoción equina: uso de acelerómetros», en: *III Curso sobre Medicina Deportiva Equina: Locomoción equina*, José Luís López Rivero, Ed., Universidad de Córdoba. Servicio de Reprografía, Córdoba, España, pp. 15-17.
- BARREY, E. (2001). «Inter-limb coordination», in: *Equine Locomotion*, Willem Back and Hillary Clayton, Eds., Saunders, U.K., pp. 77-94.
- BARREY, E. (2005). «Analyse et biomécanique des allures du cheval athlète», in: *9th Congress on Equine Medicine & Surgery in Geneva*, Chuit, P. and Montavon, S. (Eds.). [online, en: International Veterinary Information Service, Ithaca NY (www.ivis.org), Last updated: 15-Dec-2005; P1920.1205; consulta en 09/02/2007].
- BARREY, E.; AUVINET, B; COUROUCÉ, A. (1995). «Gait evaluation of race trotters using an accelerometric device». *Equine Vet. J.*, **18** (Suppl.), pp. 156-160.
- BARREY, E.; BIAU, S. (2002). «Locomotion of dressage horses», *Conference on Equine Sports Medicine and Science 2002*, "The Elite Dressage and Three-Day-Event horse", Lindner A. (Ed.), pp. 17-32.
- BARREY, E.; DESLIENS, F.; BLOUIN, C.; LANGLOIS, B. (2002b). «Heritabilities of gait characteristics: application for breeding in dressage», *Conference on Equine Sports Medicine and Science 2002*, "The Elite Dressage and Three-Day-Event horse", Lindner A. (Ed.), pp. 91-95.
- BARREY, E.; DESLIENS, F.; POIREL, D.; BIAU, S.; LEMAIRE, S.; RIVERO, J.L.L.; LANGLOIS, B. (2002a). «Early evaluation of dressage ability in different breeds». *Equine Exercise Physiology 6*, *Equine Vet. J.*, **34** (Suppl.), pp. 319-324.
- BARREY, E.; GALLOUX, P., (1997). «Analysis of the equine jumping technique by accelerometry», *Equine Vet. J.*, **23** (Suppl.), pp. 45-49.
- BARREY, E.; GALLOUX, P.; VALETTE, J.P.; AUVINET, B.; WOLTER, R. (1993a). «Stride characteristics of over ground versus treadmill locomotion in the saddle horse». *Acta Anat. (Basel)*, **146**, pp. 90-94.

- BARREY, E.; HERMELIN, M.; VAUDELIN, J.L.; POIREL, D.; VALETTE, P., (1994). «Utilisation of an accelerometric device in equine gait analysis», *Equine Vet. J.*, **17** (Suppl.), pp. 7-12.
- BARREY, E.; LANDJERIT, B.; WOLTER, R., (1991). «Shock and vibration during hoof impact on different track surfaces», *Equine Exercise Physiology*, **3**, pp. 97-106.
- BARREY, E.; VALETTE, J.P.; GALLOUX, P.; AUVINET, B., (1993b). «Comparison of heart rate, blood lactate and stride length and frequency during incremental exercise tests in overground vs. treadmill conditions», *The Equine Athlete*, **6** (1), pp. 14-17.
- BELLOY, E.; BATHE, A.P. (1996). «The importance of standardising the evaluation of conformation in the horse», *Equine Vet. J.*, **28**, pp. 429-430.
- BENNETT, D. (1996). *Principles of conformation analysis*, volumes I, II, III. Fleet Street Publishing Co., Gaithersburg, USA.
- BENOIT, P.; BARREY, E.; REGNAULT, J.C.; BROCHET, J.I., (1991). «Comparison of the damping effect of different shoeing by the measurement of hoof acceleration», *Acta Anat.*, **146**, pp. 109-113.
- BERNARDO LIMA, S. (1913). «Apontamentos sobre a fundação e história da Coudelaria d'Alter do Chão», en: *Os escriptos de Silvestre Bernardo Lima – Equinos e Suínos*, Boletim da Direção-geral de Agricultura – Ministério do Fomento, Undécimo Anno, n.º 10. Coimbra, Imprensa da Universidade.
- BIAU, S.; BARREY, E. (2004). «The trot characteristics during the first years of dressage training». *Pferdeheilkunde*, **20** (2), pp. 1-4.
- BLOOD, D.C.; STUDDERT, V.P. (1990). *Baillière's Comprehensive Veterinary Dictionary*, 2nd Ed. Baillière Tindall, London, pp.927.
- BORGHESE, N.A.; FERRIGNO, G. (1990). «An algorithm for 3D automatic movement detection by means of standard TV cameras», *IEEE Trans Biomed Eng*, **37**, pp.1221-1225.
- BOURGELAT, C. (1803), *Eléments de l'Art Vétérinaire – Traité de la conformation extérieure du cheval*. Ed. Huzard, 580 pp.
- BOWLING, A.; RUVINSKY, A. (2000). «Genetic aspects of domestication, breeds and their origins», in: *The Genetics of the Horse*, Eds. Ann Bowling and Anatoly Ruvinsky, CABI Publishing, pp. 25-48.
- BRASSAUD, C.; BARREY, E.; GIRAUD, J.Y.; BURGER, D. (2006). «Analysis of the rider's impact on the horse's locomotion through biomechanical and osteopathic approaches», in: *Proceedings of the 7th International Conference on Equine Exercise Physiology*, p. 123.
- BUCHMANN, J. (1929). *Untersuchungen über Schritt-und Trabgang des Pferdes*. Dissertation. Breslau.

- BUCHNER, H.H.; SAVELBERG, H.H.; SCHAMHARDT, H.C.; MERKENS, H.W.; BARNEVELD, A. (1994). «Kinematics of treadmill versus over ground locomotion in horses». *Vet. Q. Suppl.*, **16** (2), pp. 87-90.
- BURN, J.F.; PORTUS, B.; BROCKINGTON, C., (2006). «The effect of speed and gradient on hyperextension of the equine carpus», *The Veterinary Journal*, **171**, pp. 169-171.
- BUTCHER, M.T.; ASHLEY-ROSS, M.A., (2002). «Fetlock joint kinematics differ with age in thoroughbred racehorses». *Journal of Biomechanics*, **35**, pp. 563-571.
- CANO, M.R. (1999a). «Introducción general a la biomecánica equina», en: *Análisis biocinémático del trote en el caballo*. Tesis doctoral, Universidad de Córdoba, pp. 19-69.
- CANO, M.R. (1999b). «Análisis del patrón locomotor normal y su variabilidad en el caballo de Pura Raza Española», en: *Análisis biocinémático del trote en el caballo*. Tesis doctoral, Universidad de Córdoba, pp. 89-106.
- CANO, M.R. (1999c). «La videografía asistida por ordenador como sistema de análisis biocinémático de la locomoción equina», en: *Análisis biocinémático del trote en el caballo*. Tesis doctoral, Universidad de Cordoba, pp. 70-88.
- CANO, M.R.; MIRÓ, F.; DIZ, A.M.; AGÜERA, E.; GALISTEO, A.M. (2000). «Influence of training on the biokinematics in trotting Andalusian horses». *Vet Res Comm*, **24**, pp. 477-489.
- CANO, M.R.; MIRÓ, F.; MONTERDE, J.G.; DIZ, A.; MARTIN, J.; GALISTEO, A.M. (2001a). «Changes due to age in the kinematics of trotting Andalusian foals». *Equine Vet. J.*, **33** (Suppl.), pp. 116-121.
- CANO, M.R.; MIRÓ, F.; VIVO, J.; GALISTEO, A., (1999). «Comparative biokinematic study of young and adult Andalusian horses at the trot». *J. Vet. Med. A.*, **46**, pp. 91-101.
- CANO, M.R.; VIVO, J.; MIRÓ, F.; MORALES, J.L.; GALISTEO, A.M. (2001b). «Kinematic characteristics of Andalusian, Arabian and Anglo-arabian horses: a comparative study». *Res Vet Sci*, **71**, pp. 147-153.
- CHARTERIS, J.; LEACH, D.; TAVES, C. (1979). «Comparative kinematic analysis of bipedal and quadrupedal locomotion: a cyclographic technique». *J. Anat.*, **4**, pp.803-819.
- CHATEAU, H.; DEGUEURCE, C.; DENOIX, J-M. (2004). «Evaluation of three-dimensional kinematics of the distal portion of the forelimb in horses walking in a straight line», *Am. J. Vet. Res.*, **65**, (4), pp. 447-455.
- CHATEAU, H.; DEGUEURCE, C.; DENOIX, J-M. (2006). «Three-dimensional kinematics of the distal forelimb in horses trotting on a treadmill and effects of elevation of heel and toe», *Equine Vet. J.*, **38**, (2), pp. 164-169.
- CHATEAU, H.; DEGUEURCE, C.; JERBI, H.; CREVIER-DENOIX, N.; POURCELOT, P.; AUDIGIE, F.; PASQUI-BOUTARD, V.; DENOIX, J-M. (2002). «Three-dimensional kinematics of the equine interphalangeal joints: articular impact of asymmetric bearing», *Vet. Res.* **33**, pp. 371-382.

- CLAYTON, H.M. (1989). «Locomotion», in: *Equine Sports Medicine*, Ed. W.E. Jones. Lea and Febiger, Philadelphia, U.S.A., pp. 149-187.
- CLAYTON, H.M. (1993). «The extended canter: a comparison of some kinematic variables in horses trained for dressage and for racing». *Acta Anat* (Basel), **146** (2-3), pp.183-187.
- CLAYTON, H.M. (1994a). «Comparison of the collected, working, medium and extended canters». *Equine Vet. J.*, **17** (Suppl.), pp. 16-19.
- CLAYTON, H.M. (1994b). «Comparison of the stride kinematics of the collected, working, medium and extended trot in horses». *Equine Vet. J.*, **16** (Suppl.), pp. 230-234.
- CLAYTON, H.M. (1995). «Comparison of the stride kinematics of the collected, medium and extended walk in horses». *Am. J. Vet. Res.*, **56**, pp. 849-852.
- CLAYTON, H.M. (1997). «Classification of collected trot, passage and piaffe based on temporal variables», *Equine Vet. J.*, **23** (Suppl.), pp. 54-57.
- CLAYTON, H.M. (1998). «Gait analysis of dressage performance», in: *Proceedings of the Conference on Equine Sports Medicine and Science*, Arno Lindner, Ed., Wageningen Pres., The Netherlands, pp. 183-189.
- CLAYTON, H.M. (2005). *The Dynamic Horse*, Ed. Sport Horse Publications, Michigan, U.S.A., 267 pp.
- CLAYTON, H.M., (1986). «Cinematographic analysis of the gait of lame horses: I – Fractured supraglenoid tubercle». *J. Equine Vet. Sci.*, **6**, pp. 70-78.
- CLAYTON, H.M.; LANOVAZ, J.L.; SCHAMHARDT, H.C.; WESSUM, R. VAN; (1999). «Rider effects on ground reaction forces and fetlock kinematics at the trot». *Equine Vet. J.*, **30** (Suppl.), pp. 235-239.
- CLAYTON, H.M.; SCHAMHARDT, H.C. (2001). «Measurement techniques for gait analyses», in: *Equine Locomotion*, Willem Back and Hillary Clayton, Eds., Saunders, U.K., pp. 55-76.
- CLAYTON; H.M. (2001). «Performance in equestrian sports», in: *Equine Locomotion*, Willem Back and Hillary Clayton, Eds., Saunders, U.K., pp. 193-226.
- CORDEIRO, A.R. (2005). «A evolução do cavalo Lusitano», en: *Campeões Lusitanos*, Edições Inapa, pp. 51-65.
- CORDEIRO, A.R., (1991). «O cavalo Lusitano», en: *Cavalo Lusitano: o filho do vento*, Edições Inapa, pp. 1-64.
- COSTA FERREIRA, J. (2005). «A raça Lusitana: pequena história da sua recuperação», en: *Campeões Lusitanos*, Edições Inapa, pp. 19-49.
- COSTA FERREIRA, J.; OOM, M.M., (1989). «Consanguinidade da raça Lusitana», *Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias*, LXXXIV (**490**), pp. 77-89.
- COSTA, M. D. BERGMANN; J. A. G.; PEREIRA, C. S.; FONSECA, C. G.; REZENDE A. S. C. (1999). «Estimation of genetic parameters for conformation traits in the Brasileira

- pony breed», *Proceedings of the 6th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, Armidale, Australia, pp. 428-431.
- COUROUCÉ, A.; GEFFROY, O.; BARREY, E.; AUVINET, B.; ROSE, R.J. (2004). «Comparison of exercise tests in French trotters under training track, racetrack and treadmill conditions». *Equine Vet. J.*, **30**, pp. 528-532.
- CREVIER-DENOIX, N.; RAVARY, B.; DENOIX, J.M.; POURCELOT, P. (2006). «Effects of ground surface on the equine superficial digital flexor tendon load, evaluated by a non-invasive ultrasonic technique», in: *Proceedings of the 7th International Conference on Equine Exercise Physiology*, p. 102.
- CURIK, I.; ZECHNER, P.; SÖLKNER, J.; ACHMANN, R.; BODO, I.; DOVC, P.; KAVAR, T. (2003). «Inbreeding, microsatellite heterozygosity and morphological traits in Lipizzan horses», *Journal of Heredity*, **94** (2), pp. 125-132.
- DALIN, G.; JEFFCOTT, B. (1994), «Biomechanics, Gait and Conformation», in: *The Athletic Horse: principles and practice of equine medicine*, Eds. David R. Hodgson, Reuben R. Rose, 1st ed., W.B. Saunders Company, Philadelphia, U.S.A., pp. 27-48.
- DALIN, G.; JEFFCOTT, L.B. (1985). «Locomotion and gait analysis», *Vet. Clin. North Amer. Eq. Pract.*, **1**, pp. 549-572.
- DARIO, C.; CARNICELA, D.; DARIO, M.; BUFANO, G., (2006). «Morphological evaluation and heritability estimates for some biometric traits in the Murguese horse breed». *Genet. Mol. Res.*, **5** (2), pp. 309-314.
- DE COCQ, P.; VAN WEEREN, P.R.; BACK, W. (2004). «Effects of girth, saddle and weight on movements of the horse». *Equine Vet. J.*, **36** (8), pp. 758-763.
- DE SOUZA, M.V. (2000). *Correlación entre los defectos de aplomo y la cojera del caballo*, Tesis Doctoral, Universidad de Córdoba, p. 25.
- DE SOUZA, M.V.; MIRÓ, F. (1999). «Principales defectos de aplomo en el caballo adulto: movimiento y patología», en: *III Curso sobre Medicina Deportiva Equina: Locomoción equina*, José Luís López Rivero, Ed., Universidad de Córdoba. Servicio de Reprografía, Córdoba, España, pp. 71-74.
- DECHAMBRE, P. (1912). *Traité de Zootechnie – Tome II: Les Équidés*. Asselin & Houzeau, Paris, 494 pp.
- DEGUERCE, C., DIETRICH, G., POURCELOT, P., DENOIX, J-M., GEIGER, M., (1996). «Three dimensional kinematic technique for evaluation of horse locomotion in outdoor conditions», *Medical and Biological Engineering and Computation*, **34**, pp. 249-252.
- DEGUERCE, C.; POURCELOT, P.; AUDIGIE, F.; DENOIX, J.M., (1997). «Variability of the limb joint patterns of sound horses at trot», *Equine Vet. J.*, **23** (Suppl.), pp. 89-92.
- DENOIX, J-M; PAILLOUX, J-P, (1997). «Anatomy and basic biomechanical concepts: 2 - Forelimb», in: *Physical therapy and massage for the horse*, Ed. Trafalgar Square Publishing, Vermont, U.S.A., pp. 63-72.

- DEUEL, N.R.; LAWRENCE, L.M. (1987). «Individual variation in the Quarter horse gallop», in: *Equine Exercise Physiology 2*, Gillespie, J.R. and Robinson, N.E. Eds. ICEEP Publications. Davis, California, pp. 564-573.
- DREVEMO, S.; DALIN, G.; FREDRICSON, I.; BJORNE, K. (1980b). «Equine locomotion: III. The reproducibility of gait in Standardbred trotters ». *Equine Vet. J.*, **12** (2), pp.71-73.
- DREVEMO, S.; DALIN, G.; FREDRICSON, I.; HJERTEN, G. (1980a). «Equine locomotion: I. The analysis of linear and temporal stride characteristics in trotting standardbreds». *Equine Vet. J.*, **12**, pp. 60-65.
- DREVEMO, S.; ROEPSTOROFF, L.; KALLINGS, P.; JOHNSTON, C.J. (1993). «Applications of TrackEye in equine locomotion research», *Acta Anat.*, **146**, pp.137-140.
- DUCRO, B.J.; KOENEN, E.P.C.; VAN TARTWIJK, J.M.F.M.; (2007a). «Genetic correlations between movement and free-jumping traits and performance in show-jumping and dressage competition of Dutch Warmblood horses», in: *Proceedings of the 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, Montpellier, France.
- DUCRO, B.J.; KOENEN, E.P.C.; VAN TARTWIJK, J.M.F.M.; BOVENHUIS, H. (2007b). «Genetic relations of First Stallion Inspection traits with dressage and show-jumping performance in competition of Dutch Warmblood horses», *Livest Sci*, **107**, pp. 81-85.
- DUTTO, D.J.; HOYT, D.F.; COGGER, E.A.; WICKLER, S.J. (2004). «Ground reaction forces in horses trotting up an incline and on the level over a range of speeds». *J. Exp. Biol.*, **207** (Pt 20), pp. 3507-3514.
- FALCONER, D.S.; MACKAY, T.F.C. (1996). *Introduction to quantitative genetics*, 4th ed., Harlow, Essex, UK, Longman Group.
- FARINHA DOS SANTOS, M., (1974). *Pré-história de Portugal*, Verbo Editora, Lisboa, 175 pp.
- FERRAZ DA COSTA, P. (2005). «Introdução», en: *Campeões Lusitanos*, Edições Inapa, pp. 7-17.
- FOREST, A. (1996). «La conformation d'un cheval», *7e Colloque sur le cheval*, 27 Avril 1996, Conseil des Productions Animales du Quebec, Canada, pp. 83-86.
- FRANKE, H. (1935). Untersuchungen über den Einfluß des Körperbaus auf die Schrittlänge des Pferdes. Dissertation Landwirtschaftliche Hochschule, Berlin.
- FREDERICK, F.H. JR.; HENDERSON, J.M., (1970). «Impact force measurement using preloaded transducers», *Am. J. Vet. Res.*, **31**, pp. 2279-2283.
- FREDRICSON, I.; DREVEMO, S., (1972). «Methodological aspects of kinematics of the joints in the forelimbs of fast moving horses», *Acta Vet. Scand.*, **37**, pp. 93-136.
- FREDRICSON, I.; DREVEMO, S.; DALIN, G.; ET. AL. (1983). «Treadmill for equine locomotion analysis». *Equine Vet. J.*, **15**, p.111.

- FRUEHWIRTH, B.; PEHAM, C.; SCHEIDL, M.; SCHOBESBERGER, H. (2004). «Evaluation of pressure distribution under an English saddle at walk, trot and canter». *Equine Vet. J.*, **36** (8), pp. 754-757.
- FURTADO COELHO, F. (1937). «A acção coudélica da Estação Zootécnica Nacional», *separata do Boletim n.º 5 da Estação Zootécnica Nacional*, pp. 145-189.
- GALISTEO, A.M.; AGÜERA, E.; VIVO, J.; RODRIGUEZ, M.V.; MIRÓ, F.; DIZ, A.M.; MORALES, J.L.; CANO, M.R. (2001a). «Biomecánica de la locomoción del caballo», en: *I Jornadas de Investigación Veterinaria*, Facultad de Veterinaria de la Universidad de Córdoba, Córdoba, España, pp. 351-357.
- GALISTEO, A.M.; CANO, M.R.; MORALES, J.L.; VIVO, J.; MIRÓ, F. (1998). «The influence of speed and height at the withers on the kinematics of sound horses at the hand led trot». *Vet. Res. Comm.*, **22**, pp. 415-423.
- GALISTEO, A.M.; MORALES, J.L.; CANO, M.R.; MIRÓ, F.; AGÜERA, E.; VIVO, J. (2001b). «Interbreed differences in equine forelimb kinematics at walk», *J.Vet. Med.A*, **48**, pp. 277-285.
- GALISTEO, A.M.; VIVO, J.; CANO, M.R.; MORALES, J.M.; MIRÓ, F.; AGÜERA, E. (1997). «Differences between breeds (Dutch Warmblood vs. Andalusian Purebred) in forelimb kinematics». *J. Equine Sci.*, **8**, pp. 43-47.
- GAMA, L.T. (2002). *Melhoramento genético animal*, Escolar Editora, 307 pp.
- GANDINI, G.C.; BAGNATO, A.; MIGLIOR, F.; PAGNACCO, G. (1992). «Inbreeding in the italian Haflinger horse», *J Anim Breed Genet*, **109**, pp. 433-443.
- GARCIA PEREIRA, J. (1940). «Sobre a criação cavalari no Alentejo», *Separata da Revista de Medicina Veterinária*, 19 pp.
- GARRIDO-CASTRO, J.L. (2002). *Sistema Óptico de Medida, Captura y Análisis de Movimiento Tridimensional*. Proyecto fin de carrera de Ingeniería en Automática y Electrónica Industrial, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Córdoba, 255 pp.
- GARRIDO-CASTRO, J.L.; MEDINA-CARNICER, R.; GALISTEO, A.M., (2006). «Design and evaluation of a new three-dimensional motion capture system based on video», *Gait and Posture*, **24**, pp. 126-129.
- GELINDER, A.; SKOGLUND, A-C.; NÄSHHOLM, A.; PHILIPSSON, J. (2001). «Relationships between stallion performance test results and sport results in dressage and showjumping», *Proceedings of the 52nd Annual Meeting of the EAAP*, Budapest, Hungary, 26th-29th August 2001.
- GERBER-OLSSON, E.; ARNASON, T.; NASHOLM, A.; PHILIPSSON, J. (2000). «Genetic parameters for traits at performance test of stallions and correlations with traits at progeny tests in Swedish Warmblood Horses», *Liv Prod Sci*, **65**, pp. 81-89.
- GINGERISCH, D.A.; AUER, J.A.; FACKELMAN, G.E.; (1979). «Force plate studies on the effect of exogenous hyaluronic acid on joint function in equine arthritis», *J. Vet. Pharmacol. Therap.*, **2**, pp. 291-298.

- GOIFFON Y VINCENT (1779), *Mémoire artificielle des principes relatives à la fidele représentation des animaux taint en peinture qu'en sculpture. I – Partie concernant le cheval.* Alfort.
- GÓMEZ FERNÁNDEZ, J., (2002). Estudio genético de los principales parámetros reproductivos en el caballo Pura Raza Española: aplicación al programa de mejora de la raza, Tesis doctoral, Universidad de Córdoba, España, 164 pp.
- GÓMEZ, M.D.; CERVANTES, I.; GESSA, J.A.; HORCADA, A.; MOLINA, A.; VALERA, M. (2006). «Factores extrínsecos que condicionan las evaluaciones de los jueces en los concursos morfofuncionales de caballos de Pura Raza Española», *XIII Reunión Nacional de Mejora Genética Animal*, Gijón, 20 a 30 de Junio de 2006.
- GROENEVELD, E. (1996). REML VCE: a multivariate multi model restricted maximum likelihood (co)variance component estimation package, version 3.2., User's guide. Editor: E. Groeneveld, Institute of Animal Husbandry and Animal Ethology. Federal Research Centre of Agriculture, Neustadt, Germany.
- GUEZENNEC, C.Y.; GUEZENNEC, A.; ARNAULT DES LIONS, J.; DE BROUCKER, C.A.; GLORIA, E.; BARREY, E. (2006). «Analysis of horse-rider interaction by accelerometry», in: *Proceedings of the 7th International Conference on Equine Exercise Physiology*, p. 108.
- GUTIÉRREZ, J.P.; GOYACHE, F. (2005). «A note on ENDOG: a computer program for analysing pedigree information». *J. Animal Breed. Gen.*, **122**, pp.172-176.
- HARTLEY EDWARDS, E. (1994). *O grande livro do cavalo*, Ed. Livros e Livros, pp. 40-41.
- HEDGE, J. (2004). *Horse conformation: structure, soundness and performance*. Equine Research, Hedge and Wagoner, Eds., 484 pp.
- HILDEBRAND, M., (1965). «Symmetrical gaits of horses», *Science*, **150**, pp. 701-708.
- HOLMSTRÖM, M. (1994). *Quantitative conformation and gait analysis in the Swedish Warmblood riding horse*, Tesis doctoral, SLU/Uppsala, Suécia.
- HOLMSTRÖM, M. (1996). «La locomotion du cheval de dressage analysée par des caméras à grande vitesse», en: *Colloque Sélection et Aptitude au Dressage*, Institut du Cheval, France, pp. 34-45.
- HOLMSTRÖM, M. (2001). «Effects of conformation», in: *Equine Locomotion*, Willem Back and Hillary Clayton, Eds., Saunders, U.K., pp. 281-295.
- HOLMSTRÖM, M.; FREDRICSON, I.; DREVEMO, S. (1993). «Biokinematic analysis of the Swedish Warmblood riding horse at trot», *Equine Vet. J.*, **26**, pp. 235-240.
- HOLMSTRÖM, M.; FREDRICSON, I.; DREVEMO, S. (1994). «Biokinematic differences between riding horses judged as good and poor at trot», *Equine Vet. J.*, **17** (Suppl.), pp. 51-56.
- HOLMSTRÖM, M.; FREDRICSON, I.; DREVEMO, S. (1995). «Biokinematic effects of collection on the trotting gaits in the dressage horse», *Equine Vet. J.*, **27**, pp. 281-287.

- HOLMSTRÖM, 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**, pp. 86-93.
- HOLMSTRÖM, M.; PHILIPSSON, J., (1993). «Relationships between conformation, performance and health in 4 year-old Swedish Warmblood riding horses». *Livest Prod Sci*, **33**, pp. 293-312.
- HORNICKE, H.; MEIXNER, R.; POLLMANN, U. (1983). «Respiration in exercising horses. In: *Equine Exercise Physiology*, Eds. Snow, Persson and Rose, Granta Editions, Cambridge, pp. 7-14.
- HOYT, D.F.; MOLINARI, M.; WICKLER, S.J.; COGGLER, E.A. (2002). «Effect of trotting speed, load and incline on hindlimb stance-phase kinematics». *Equine Vet. J.*, **34** (Suppl.), pp. 330-336.
- HOYT, D.F.; TAYLOR, C.R., (1981). «Gait and energetics of locomotion in horses». *Nature*, **292**, pp. 239-240.
- HUIZINGA, H.A.; BOUKAMP, M.; SMOLDERS, G. (1990). «Estimated parameters of field performance testing of mares from the Dutch Warmblood riding horse population», *Livest Prod Sci*, **26**, pp. 291– 299.
- INIAP, (2004). *Recursos genéticos animais em Portugal: relatório nacional*, Junho de 2004. Telo da Gama (Coord.), Instituto Nacional de Investigação Agrária e das Pescas, 68 pp.
- JANSEN, M.O.; VAN DEN BOGERT, J.; RIEMERSMA, D.J.; SCHAMHARDT, H.C. (1993). «In vivo tendon forces in the forelimb of ponies at the walk, validated by ground reaction force measurements». *Acta Anat.*, **146**, pp. 162-167.
- JANSSENS, S.; GEYSEN, D.; VANDEPITTE, W. (1997). «Genetic parameters for show-jumping in Beigian sport horses», 48th Ann. Meet. EAAP, Viena, Austria, 25-28 August.
- KAI, M.; HIRAGA, A.; KUBO, K.; TOKURIK, M., (1997). «Comparison of stride characteristics in a cantering horse on a flat and inclined treadmill». *Equine Vet. J.*, **23** (Suppl.), pp. 76-79.
- KAISER, M.; DUDA, J.; VON BUTLER-WEMKEN, I., (1991). «Genetische und nicht genetische Einflüsse auf die Körpermasse einer Trakehner Zuchtpferdepopulation». *Züchtungskunde*, **63**, pp. 335-341.
- KAPRON, M.; PIETA, M.; KAPRON, H., (1994). «Genetic relations between conformation traits of half-breed horses». *Genetica Polonica*, **35**, pp. 109-114.
- KEG, P.R.; VAN DEN BELT, A.J.M.; MERKENS, H.W.; BARNEVELD, A.; DIK, K.J., (1992). «The effect of regional nerve blocks on the lameness caused by collagenase induced tendonitis in the midmetacarpal region of the horse: a study using gait analysis, and ultrasonography to determine tendon healing». *J. Vet. Med.*, **A39**, pp. 349-364.
- KLEMETSDAL, G.; WALLIN, L.E.; DOLVIK, N.I. (1986). «Genetic parameters estimated on subjectively scored conformation traits in Norwegian trotters». *37th Annal Meeting of the European Association of Animal Production*, Budapest, Hungary.

- KNOPFHART, A. (1966). *Beurteilung und Auswahl von Reitpferden*. Paul Parey, Ed., Berlin und Hamburg – Zweiter Auflage.
- KOENEN, E.P.C.; ALDRIDGE, L.I.; PHILIPSSON, J., (2004). «An overview of breeding objectives for warmblood sport horses», *Livest Prod Sci*, 88, pp. 77-84.
- 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**, pp.85-94.
- KOVAC, M.; GROENEVELD, E. (2003) VCE-5 Users Guide and Reference Manual, Version 5.1.2.
- KRONACHER, C.; OGRIZEK, A. (1931). «Exterieur und Leistungsfähigkeit des Pferdes mit besonderen Berücksichtigung der Gliedmaßenwinkelung und Schrittlängenverhältnisse». *Z. Zucht. Reihe B Tierz. U. Züchtungsbiolog.* **32** (2), pp. 183-228.
- LAGARDE, J.; CELSO, J.A.S.; PEHAM, C.; LICKA, T. (1996). «Coordination dynamics of the horse-rider system». *Journal of Motor Behaviour*, **28** (1), pp. 1-7.
- LANGLOIS, B. (1980). «Heritability of racing ability in Thoroughbreds – a review», *Livest Prod Sci*, **7**, pp.591-605.
- LANGLOIS, B. (1982). «L'héritabilité des performances chez le Trotteur – une revue bibliographique», *Ann. Génét. Sél. Anim.*, **14** (3), pp.399-414.
- LANGLOIS, B.; FROIDEVAUX, J.; LAMARCHE; L.; LEGAULT, C.; LEGAULT, P.; TASSENCOURT, L.; THERÉT, M. (1978). «Analyse des liaisons entre la morphologie et l'aptitude au galop, au trot et au sauts d'obstacles chez le cheval». *Ann Génét Sél Anim*, **10**, pp. 443-474.
- LEACH, D. (1987). «Locomotion of the athletic horse», in: *Equine Exercise Physiology*, 2, Eds. J. R. Gillespie and N. E. Robinson, pp. 516-535.
- LEACH, D.H. (1993). «Recommended terminology for researchers in locomotion and biomechanics of quadrupedal animals». *Acta Anat*, **146**, pp. 130-136.
- LEACH, D.H., (1983). «Biomechanical considerations in raising and lowering the heel», *Proc. Am. Ass. Eq. Pract.*, **28**, pp. 333-342.
- LEACH, D.H., DREVEMO, S. (1991). «Velocity-dependant changes in stride frequency and length of trotters on a treadmill», in: *Equine Exercise Physiology*, 3, Eds. Persson SGB, Lindholm A, Jeffcott LB, p. 136.
- LEACH, D.H.; ORMROD, K.; CLAYTON, H.M. (1984). «Standardised terminology for the description and analysis of equine locomotion». *Equine Vet. J.*, **16**, pp. 522-528.
- LELEU, C.; COTREL, C.; BARREY, E. (2005). «Relationships between biomechanical variables and race performance in French Standardbred Trotters», *Liv. Prod. Sci.*, **92**, pp. 39-46.

- LELEU, C.; COTREL, C.; BARREY, E., (2003). «Effect of age on locomotion of Standardbred trotters in training», *Equine and Comparative Exercise Physiology*, **1** (2), pp. 107-117.
- LELEU, C.; GLORIA, E.; RENAULT, G.; BARREY, E. (2002). «Analysis of trotter gait on the track by accelerometry and image analysis», *Equine Exercise Physiology* 6, *Equine Vet J*, **34** (Suppl.), pp. 344-348.
- LESBRE, F.X., (1920). *Précis d'extérieur du cheval*, Chapitre IV – Attitudes, mouvements sur place, allures, Section III – Allures. Deuxième édition. Asselin et Houzeau, Paris, pp. 180-186.
- LINFORD, R.L., (1994). «Camara speeds for optoelectronic assessment of stride-timing characteristics in horses at the trot», *Am. J. Vet. Res.*, **55**, pp. 627-634.
- LOPES, M.S.; MENDONÇA, D.; CYMBRON, T.; VALERA, M.; COSTA FERREIRA, J.; MACHADO, A.C. (2005). «The Lusitano horse maternal lineage based on mitochondrial D-loop sequence variation», *Anim. Genet.*, **36** (3), pp. 196-202.
- LÜHRS-BEHNKE, H.; RÖHE, R.; KALM, E. (2002). «Estimation of genetic parameters for traits used in the integrated breeding evaluation of German warmblood horses», *53rd Ann. Meet. EAAP*, Cairo, Egypt, 1-4 September 2002.
- LUÍS, C.; BASTOS-SILVEIRA, C.; COTHRAN, E.G.; OOM, M.M., (2006). «Iberian origins of New World horse breeds», *Journal of Heredity*, **96** (2), pp. 107-113.
- MACHADO, A.C., (2005). «De onde vem o Puro Sangue Lusitano?», *National Geographic Portugal*, **46** (Jan.), pp. 54-55.
- MAGNUSSON, L-E., (1985a). «IV. Relationship between conformation and soundness in 4-year old Standardbred trotters», in: *Studies on the conformation and related traits of Standardbred trotters in Sweden*, Tesis doctoral, SLU, Skara.
- MAGNUSSON, L-E., (1985b). «V. Relationship between conformation and performance in 4-year old Standardbred trotters», in: *Studies on the conformation and related traits of Standardbred trotters in Sweden*, Tesis doctoral, SLU, Skara.
- MAIGNEL. L.; BOICHARD, D.; VERRIER, E. (1996). «Genetic variability of French dairy breeds estimated from pedigree information», *Interbull Bull*, **14**, pp.49-54.
- MAREY, E.-J., (1894), *Le mouvement*. Ed. Masson, 335 pp.
- MARKS, D. (2000). «Conformation and soundness», *Proceedings of the AAEP Annual Conference*, **46**, pp.39-45.
- MARTÍNEZ DEL CAMPO, L.J.; KOBLUC, C.N.; GREER, N.; TRENT, A.M.; STONER, L.J.; WICKSTROM, L.; LOCH, D., (1991). «The use of high-speed videography to enerate angle-time and angle-angle diagrams for the study of equine locomotion», *Vet. Comp. Orthop. Traumat.*, **4**, pp. 120-131.
- MAWDSLEY, A.; KELLY, E.P.; SMITH, F.H.; BROPHY, P.O. (1996). «Linear assesment of the Thoroughbred horse: an approach to conformation evaluation», *Equine Vet J*, **28** (6), pp.461-467.

- MCGUIGAN, M.P.; WILSON, A.M. (2003). «The effect of gait and digital flexor muscle activation on limb compliance in the forelimb of the horse *Equus caballus*». *J. Exp. Biol.*, **206**, pp. 1325-1336.
- MEINARDUS, H.; MIESNER, K.; BRUNS, E. (1986). «Analysis of field performance testing of mares», In: *Proceedings of the 37th Ann. Meet. EAAP*, Budapest, Hungary.
- MIRANDA DO VALE, J. (1976). *O exterior do cavalo*, 3ª edição. Editorial Notícias, Lisboa, 160 pp.
- MIRÓ, F. (1999a). «Los aires naturales del caballo», en: *III Curso sobre Medicina Deportiva Equina: Locomoción equina*, Ed. José Luís Lopez Rivero, Universidad de Córdoba. Servicio de Reprografía, Córdoba, España, pp. 11-13.
- MIRÓ, F. (1999b). «Análisis cinemático de la locomoción del caballo de doma clásica», en: *III Curso sobre Medicina Deportiva Equina: Locomoción equina*, Ed. José Luís Lopez Rivero, Universidad de Córdoba. Servicio de Reprografía, Córdoba, España, pp. 41-44.
- MIRÓ, F.; VIVO, J.; CANO, M.R.; DIZ, A.; GALISTEO, A.M. (2006). «Walk and trot in the trot at driving: kinematic adaptation of its natural gaits», *Anim. Res.*, **55**, pp-603-613.
- MISERANI, M.G.; MCMANUS, C.; SANTOS, S.A.; SILVA, J.A.; MARIANTE, A.S.; ABREU, U.G.P.; MAZZA, M.C.; SERENO, J.R.B. (2002). «Heritability estimates for biometric measures of the Pantaneiro horse», *Arch. Zootec.*, **51** (193-194), pp.107-112.
- MOLINA A.; VALERA, M.; DOS SANTOS, R.; RODERO, A. (1999). «Genetic parameters of morphofunctional traits in Andalusian horse», *Livest.Prod. Sci.*, **60**, pp. 295-303.
- MOLINA, A.; VALERA, M.; GALISTEO, A.; 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**, pp. 137-145.
- MONTEIRO, J. (1983). *O Cavalo Lusitano – contributo para o seu estudo*, Lisboa, 205 pp.
- MORALES, J.L.; MANCHADO, M.; CANO, M.R.; MIRÓ, F.; GALISTEO, A.M.; (1998a). «Temporal and linear kinematics in elite and riding horses at the trot». *J. Equine Vet. Sci.*, **18**, (12), pp. 835-839.
- MORALES, J.L.; MANCHADO, M.; VIVO, J.; GALISTEO, A.M.; AGÜERA, E.; MIRÓ, F. (1998b). «Angular kinematic patterns of limbs in elite and riding horses at trot». *Equine Vet J*, **30** (6), pp. 528-533.
- MUIR, G.D.; LEACH, D.H.; CYMBALUK, N.; DYSON, S. (1991). «Velocity-dependent changes in intrinsic stride timing variables of quarter-horse foals», in: *Equine Exercise Physiology 3*, Eds. Persson, S.G.B, Lindholm, A. and Jeffcott, L.B.. *ICEEP Publications*, Davis, California, pp.141-145.
- NUSSBAUM, M.C. (1978). *Aritotle's De Moto Animalium: Text with Translation, Commentary, and Interpretive Essays*, Princeton University Press, 430 pp.
- OOM, M.M.; COSTA FERREIRA, J., (1987). «Estudo biométrico do cavalo Alter», *Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias*, LXXXII (**482**), pp. 101-148.

- PEHAM, C.; LICKA, T.; KAPAUN, M.; SCHEIDL, M. (2001). «A new method to quantify harmony of the horse-rider system in dressage». *Sports Engineering*, **4** (2), pp. 95.
- PEHAM, C.; LICKA, T.; SCHOBESBERGER, H.; MESCHAN, E. (2004). «Influence of the rider on the variability of equine gait». *Hum. Movement Sci.*, **23**, pp. 663-671.
- PEÑA, F.; MONTERDE, J.G. (2007). «Estudio morfométrico», en: *Valoración morfofuncional en la selección de reproductores del caballo de Pura Raza Española (Caballo Andaluz)*. Ed. Foro de opinión El Caballo Español, pp.49-57.
- PIRES, L. (2003). Análise genética dos principais parâmetros reprodutores da raça Puro Sangue Lusitano, Tese de Licenciatura, Universidade de Évora, Portugal. 100 pp.
- PRATT, G.W.JR.; O'CONNOR, J.T.JR., (1976). «Force plate studies of equine biomechanics», *Am. J. Vet. Res.*, **37**, pp. 1251-1255.
- RALÃO DUARTE, J. (2005). «Ensino, atrelagem e equitação de trabalho», en: *Campeões Lusitanos*, Edições Inapa, pp. 51-57.
- RATZLAFF, M.H.; GRANT, B.D.; ADRIAN, M.; FEENEY-DIXON, C., (1979). «Evaluation of equine locomotion using electrogoniometry and cinematography: research and clinical applications», *Proc. AAEP.*, **25**, p.381.
- RATZLAFF, M.H.; HYDE, M.L.; GRANT, B.D.; BALCH, O.; WILSON, P.D., (1990). «Measurement of vertical forces and temporal components of the strides of galloping horses using instrumented shoes», *J. Equine Vet. Sci.*, **10**, pp. 23-25.
- RICARD, A.; BRUNS, E.; CUNNINGHAM, E.P. (2000). «Genetic of performance traits», in: *The genetics of the horse*, Bowling, Eds. Ann Bowling and Anatoly Ruvinsky, CABI Publishing, pp. 411-434.
- RIEMERSMA, D.J.; VAN DEN BOGERT, A.J.; JANSEN, M.O.; SCHAMHARDT, H.C., (1996a). «Tendon strain in the forelimbs as a function of gait and ground characteristics, and in vitro limb loading in ponies», *Equine Vet. J.*, **28**, pp. 133-138.
- ROBERT, C.; VALETTE, J.P.; DENOIX, J.M., (2000). «The effects of treadmill inclination and speed on the activity of two hindlimb muscles in the trotting horse», *Equine Vet. J.*, **32** (4), pp. 312-317.
- ROBERT, C.; VALETTE, J.P.; POURCELOT, P.; AUDIGIE, F.; DENOIX, J.M. (2002). «Effects of trotting speed on muscle activity and kinematics in saddlehorses». *Equine Vet. J.*, **34** (Suppl.), pp. 295-301.
- ROEPSTORFF, L.; DREVEMO, S., (1993). «Concept of a force measuring horseshoe», *Acta Anat.*, **146**, pp. 114-119.
- ROGERS, C.W.; FIRTH, E.C.; ANDERSON, B.H. (2005). «Musculoskeletal responses of 2-year-old Thoroughbred horses to early training. 5. Kinematic effects», *New Zealand Veterinary Journal*, **53** (2), pp. 95-100.
- ROYO, L.J.; ÁLVAREZ, I.; BEJA-PEREIRA, A.; MOLINA, A.; FERNÁNDEZ, I.; JORDANA, E.; GÓMEZ, E.; GUTIÉRREZ, J.P.; GOYACHE, F., (2005). «The origins

- of Iberian horses assessed via mitochondrial DNA», *Journal of Heredity*, **96** (6), pp. 663-669.
- SAASTAMOINEN, M.T.; BARREY, E., (2000). «Conformation, locomotion and physiological traits» in: *The genetics of the horse*, Bowling, Eds. Ann Bowling and Anatoly Ruvinsky, CABI Publishing, pp. 439-472.
- SAASTAMOINEN, M.T.; SUONTAMA, M.; OJALA, M., (1998). «Heritability of conformation traits and their relationship to racing performance in the Finnhorse trotter», *Proceedings of the 6th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, 24, pp. 396-399.
- SAMORE, A.B.; PAGNACCO, G.; MIGLIOR, F. (1997). «Genetic parameters and breeding values for linear type traits in the Haflinger horse», *Livest. Prod. Sci.*, **52**, pp. 105-111.
- SANTOS, C. (2007). *Estatística Descritiva - Manual de Auto-aprendizagem*, 1ª edição, Lisboa, Edições Sílabo, 264 pp.
- SANTOS, L.M. (2006). *Morfologia e genética do cavalo Campolina*. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil, pp. 38-39.
- SCHAMHARDT, H.C.; BOGERT, A.J. VAN DEN; LAMMERTINK, J.L.M.A., (1992). «Measurement and analysis of equine locomotion using a modified CODA-3 linematic analysis system», *Proc. Canadian Soc. Biomech.*, pp. 306-307.
- SCHAMHARDT, H.C.; MERKENS, H.W.; VAN OSCH, G.J.V.M. (1991). «Ground reaction force analysis of horses ridden at the walk and trot», in: *Equine Exercise Physiology 3*, Eds. Persson, S.G.B, Lindholm, A. and Jeffcott, L.B. ICEEP Publications, Davis, California, pp. 120-127.
- SCHILLS, S.J.; CREER, N.L.; STONER, L.J.; KOBLUK, C.N. (1993). «Kinematic analysis of the equestrian – walk, posting trot and sitting trot». *Hum. Movement Sci.*, **12**, pp. 693-712.
- SERRANO, A.L.; MIRÓ, F.; RIVERO, J.L.L.; GALISTEO, A.M. (1996). «Parámetros cinemáticos del paso y el trote en caballos Españoles jóvenes entrenados y no entrenados y relación con las características musculares», en: *Características musculares y análisis de la locomoción del caballo: adaptaciones con el entrenamiento y correlación con el rendimiento deportivo*. A.L. Serrano, Tesis doctoral, Universidad de Córdoba, España, pp. 71-85.
- SIMPSON, G.G.; ROE, A.; LEWONTIN, R., (1960). *Quantitative zoology*, Harcourt, Braze and Company, New York, 440 pp.
- SIMPSON, G.G: (1951). *Horses: the story of the horse family in the modern world and through sixty million years of history*. Oxford University Press, New York, 247 pp.
- SLOET VAN OLDRUITENBORGH-OOESTE, M.M.; BARNEVELD, A.; SCHAMHARDT, H.C. (1997). «Effects of treadmill inclination on kinematics of the trot in Dutch Warmblood». *Equine Vet. J.*, **23** (Suppl.), pp. 71-75.

- SMITH, A.M.; BURTON STANIAR, B.; SPLAN, R.K. (2006). «Associations between yearling body measurements and career racing performance in thoroughbred racehorses». *J. Equine Vet. Sci.*, **26** (5), pp. 212-214.
- SMITH, L.A.; CASSELL, B.G.; PEARSON, R.E. (1998). «The effects of inbreeding on the lifetime performance of dairy cattle», *J Dairy Sci*, **81**, pp.1657-1662.
- SOUSA, A.N. (1934). «A Coudelaria Militar de Alter», en: *Album Alentejano*, Tomo III - Distrito de Portalegre, Pedro Muralha (Dir.), Imprensa Beleza, Lisboa, pp. 561-567.
- SPENCE, A.; PARSONS, K.; FERRARI, M.; PFAU, T. ; WILSON, A. ; THURMAN, A. (2007). «Effects of substrate properties on equine locomotion». *Comparative Biochemistry and Physiology - Molecular & Integrative Physiology* **146**, S109-S109.
- STASHAK, T., (1987). «Relationship between conformation and lameness», in: *Lameness in horses*, 4th edition. Adams, O.R., Ed. Philadelphia, Lea and Febiger, pp. 71-99.
- STATSOFT INC. (2001). *Statistica, v.6.0. for Windows*. Tulsa - OK, USA.
- TAVERNIER, A. (1986). «Donnés nouvelles sur les performances des chevaux de sport: précocité, effets maternas, influence du type génétique», *Journée de la recherche chevaline*, CEREOPA, 12 Marzo, Paris.
- TAVERNIER, A. (1992a). «L'indexation pour le classement», *INRA Prod. Anim.*, hors série Eléments de génétique quantitative et application aux populations animales, pp. 209-211.
- TAVERNIER, A. (1992b). «Is the performance at 4 years in jumping informative for later results?» *43rd Ann. Meet. EAAP*, Madrid, Spain, 13-17 September 1992.
- TAYLOR, B.M.; TIPTON, C.M.; ADRIAN, M.; KARPOVICH, P.V., (1966). «Action of certain joints in the legs of the horse recorded electrogoniometrically», *Am. J. Vet. Res.*, **27**, pp. 85-89.
- THORÉN HELLSTEN, E.; VIKLUND, A.; 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 correlation with later results in dressage and show-jumping competition», *Livest. Sci.*, **103**, pp. 1-12.
- USPENSKII, V.D. (1953). «Anatomo-fiziologicheskii analiz konechnostei v allyure i ego prakticheskoe znachenie». *Tr. Saratovsk Zoovet. Inst.*, **4**, pp. 109-115.
- VALERA, M.; ESTEVES, L.; OOM, M.M.; MOLINA, A., (2000). «A raça equina autóctone Puro Sangue Lusitano: estudo genético dos parâmetros reprodutivos de importância nos esquemas de conservação e melhoramento», *Arch. Zootec.*, **49** (185-186), pp. 147-156.
- VALERA, M.; GALISTEO, A.; MOLINA, A.; MIRÓ, F.; GÓMEZ, M.D.; CANO, M.R.; AGÜERA, E. (2007). «Genetic parameters of biokinematic variables of the trot in Spanish Purebred horses under experimental treadmill conditions», *The Veterinary Journal*, in press, e-published ahead of printing - doi:10.1016/j.tvjl.2007.07.031.

- VAN WEEREN, P. R., VAN DEN BOGERT, A. J. AND BARNEVELD, A. (1990). «A quantitative analysis of skin displacement in the trotting horse». *Equine Vet. J.* **9** (Suppl.), pp.101 -109.
- VAN WEEREN, P.R., (2001). «History of locomotor research», in: *Equine Locomotion*, Willem Back and Hillary Clayton, Eds., Saunders, U.K., pp. 1-35.
- VAN WEEREN, P.R.; VAN DEN BOGERT, A.J.; BACK, W.; BRUIN, G.; BARNEVELD, A. (1993). «Kinematics of the Standardbred Trotter measured at 6, 7, 8 and 9 m/s on a treadmill, before and after 5 months of prerace training», *Acta Anat.*, **146**, pp. 154-161.
- VIEIRA DE CASTRO, L. (1962). «Contribuição para o estudo do comportamento reprodutivo da equada da Coudelaria de Alter», *Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias*, LVIII (382/83).
- VON BUTLER, I. (1986). «Genetic parameters for body measurements in Bavarian warmblood mares». *37th Annual Meeting of the European Association of Animal Production*, Budapest, Hungary.
- WALLIN, L.; STRANDBERG, E.; PHILIPSSON, J., (2001). «Phenotypic relationship between test results of Swedish Warmblood horses as 4-year-olds and longevity», *Livest. Prod. Sci.*, **68**, pp.97-105.
- 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. Prod. Sci.*, **82**, pp. 61-71.
- WELLER, R.; PFAU, T.; BABBAGE, D.; BRITTIN, E.; MAY, S.A.; WILSON, A.M., (2006). «Reliability of conformational measurements in the horse using a three-dimensional motion analysis system», *Equine Vet. J.*, **38** (7), pp. 610-615.
- WIECHERT, F. (1927). «Messungen an ostpreußischen Kavalleriepferden und solchen mit besonderen Leitsungen und die Beurteilung der Leitungsfähigkeit auf Grund der mechanischen Verhältnisse». *Arbeiten der Deutschen Gesellsch. Für Züchtungskunde*, **34**, pp.1-67.
- WIENER, G.; LEE, G.J.; WOOLLIAMS, J.A.(1992). «Effects of rapid inbreeding and of crossing inbred lines on the growth of linear body dimensions of sheep», *Anim. Prod.*, **53**, pp.101-114.
- 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**, pp. 163-177.
- ZEILER, M.; MAYR, M.; HAMANN, H.; DISTL, O. (1999). «Genetic correlations in performance test results among Haflinger mares and stallions», *Proceedings of the 50th Annual Meeting of the EAAP*, Zürich, Switzerland, 22nd – 26th August 1999.
- ZETTELER, P. (2004). *Genetic evaluation of field performance testing of mares from the Dutch Warmblood Riding Horse population*, MSc Thesis, Wageningen University, The Netherlands, 20 pp.



ANEXOS

Anexo 1:

Estándar racial de la raza equina Pura Sangre Lusitano

Disponible en el Stud Book on-line, en la página web de la Fundação Alter Real, <http://www.snc.min-agricultura.pt/home.htm>, en 12 de Mayo de 2008.

MODELO IDEAL CON 100 PUNTOS

1. TIPO

Eumétrico (peso cercano a los 500 Kg.); mediolíneo; sub-convexilíneo (de formas redondeadas), su silueta puede inscribirse en un cuadrado.

2. ALZADA

Alzada media a la cruz, medida con bastón zoométrico a los 6 años de edad:

– Hembras 1,55 m – Machos 1,60 m

3. CAPA

Los colores más frecuentes son la torda y la castaña en todas sus variaciones.

4. CARÁCTER

Noble, generoso e ardiente, pero siempre dócil y sufridor.

5. AIRES

Ágiles e elevados, proyectándose para delante, suaves y de gran comodidad para el jinete.

6. APTITUD

Tendencia natural para la concentración, con grande predisposición para ejercicios de alta escuela, y gran valor e entusiasmo en los ejercicios de la jineta (combate, cacería, manejo del ganado, etc.).

7. CABEZA

Bien proporcionada, de longitud mediana, delgada y seca, el ramo mandibular es poco desarrollado y las fauces relativamente largas, perfil ligeramente sub-convexo, frente ligeramente arqueada (sobresalen las órbitas), ojos sobre el elíptico, grandes y vivos, expresivos y con confianza. Las orejas son medianamente largas, finas, delgadas e expresivas.

8. CUELLO

Medianamente largo, redondeado, el borde de la crin es delgado, la ligación a la cabeza es estrecha, ancho en la base, y bien inserido en las espaldas, saliendo de la cruz sin una depresión acentuada.

9. CRUZ

Destacada y larga, haciendo una transición suave entre el dorso y el cuello, siempre ligeramente más elevada que la grupa. En los machos no castrados acumula alguna grasa, pero siempre se destaca bien de las espaldas.

10. PECHO

De amplitud mediana, profundo y musculoso.

11. COSTILLAR

Bien desarrollado, amplio y profundo, con costillas ligeramente arqueadas, insertándose oblicuamente en la columna vertebral, creando un ijar corto y lleno.

12. ESPALDAS

Largas, oblicuas y bien musculosas.

13. DORSO

Bien puesto, con tendencia para la horizontalidad, uniendo suavemente la cruz y el riñón.

14. RIÑÓN

Corto, ancho, musculoso, ligeramente conexo, bien ligado al dorso y a la grupa, con la cual forma una línea continua y perfectamente armónica.

15. GRUPA

Fuerte y redondeada, bien proporcionada, ligeramente oblicua, tan larga como ancha, de perfil convexo, armónico y puntas de las caderas poco evidentes, dando a la grupa una sección transversal elíptica. La cola sale en el seguimiento de la grupa, las cerdas son suaves y abundantes.

16. MIEMBROS

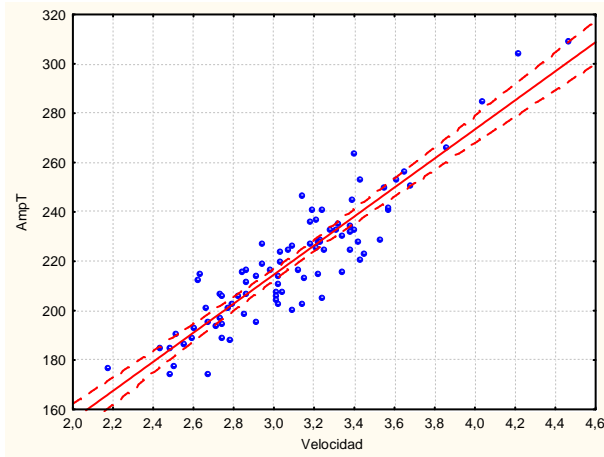
Brazo bien musculoso, armoniosamente inclinado. Antebrazo bien aplomado y musculoso. Rodilla seca y ancha.

Cañas algo largas, secas, tendones bien destacados, menudillos secos relativamente voluminosos y casi sin cerneas. Cuartillas relativamente largas y oblicuas. Cascos bien constituidos, conformados y proporcionados, talones no muy abiertos y corona poco evidente.

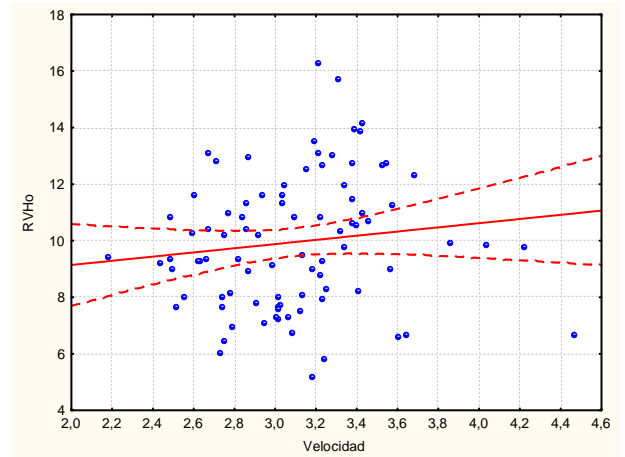
Nalga corta y convexa. Muslo musculoso, algo corto, inclinado para que la rótula quede en la vertical de la punta de la cadera. Pierna larga, colocando el corvejón en la vertical de la punta de la nalga. El corvejón es ancho, fuerte y seco. Los miembros pelvianos presentan ángulos relativamente cerrados.

Anexo 2:

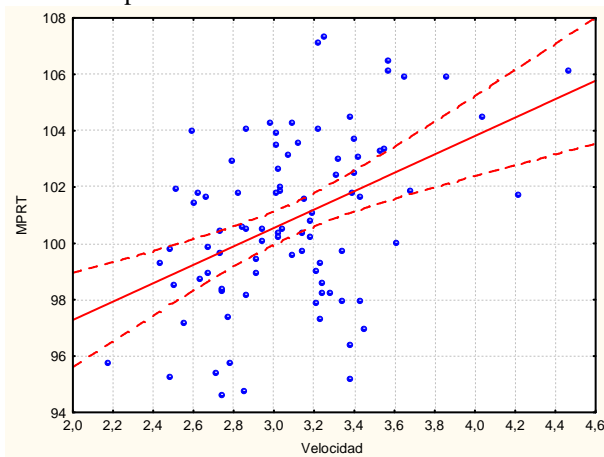
Gráficas de regresión lineal entre la velocidad y las variables biocinemáticas.



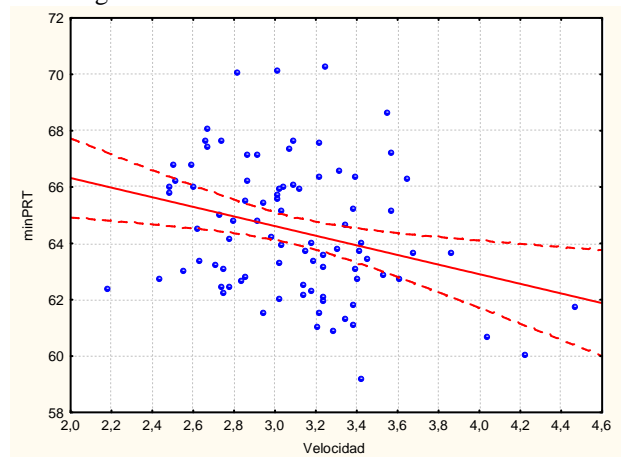
Amplitud del tranco del miembro torácico



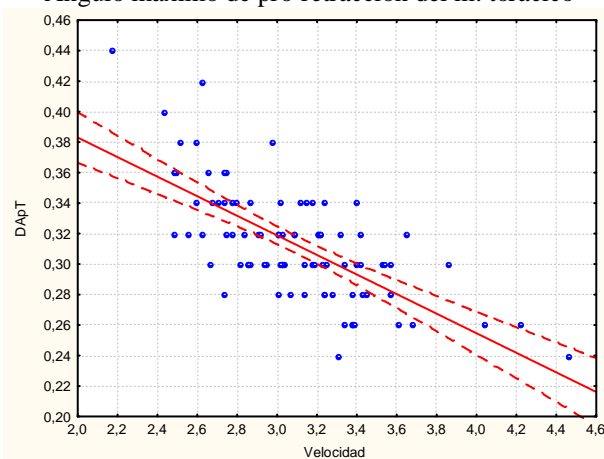
Rango de variación de la articulación del hombro



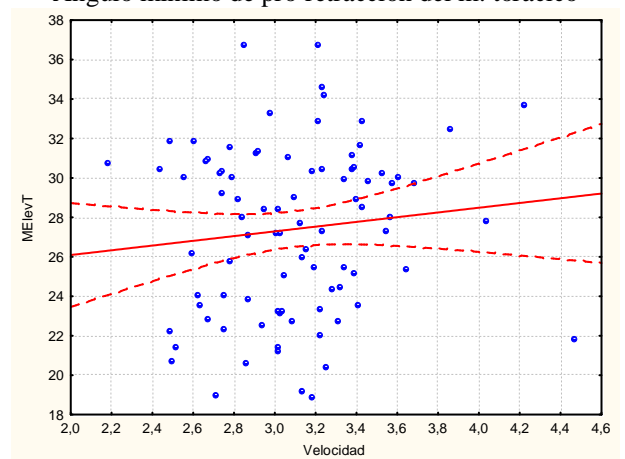
Ángulo máximo de pro-retracción del m. torácico



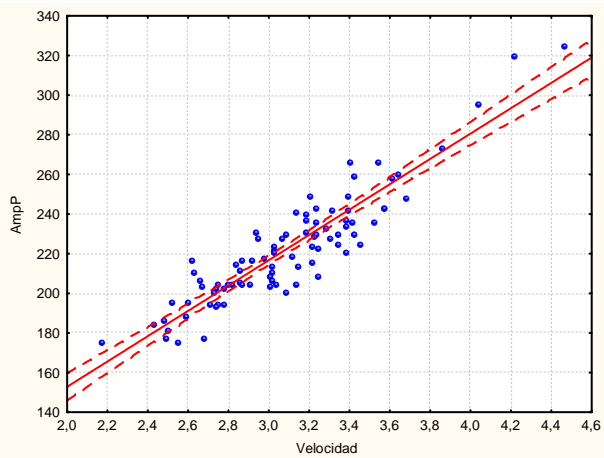
Ángulo mínimo de pro-retracción del m. torácico



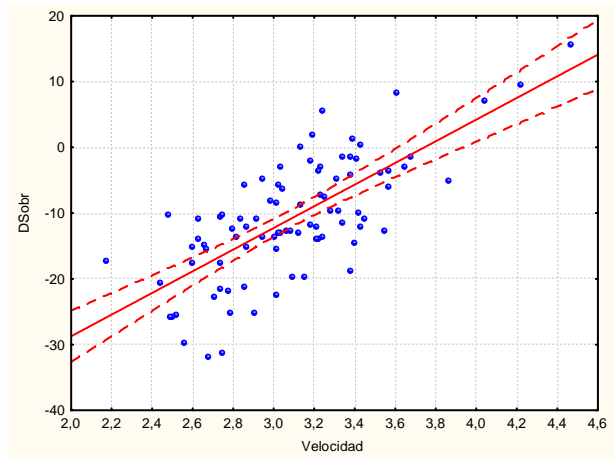
Duración de la fase de apoyo del miembro torácico



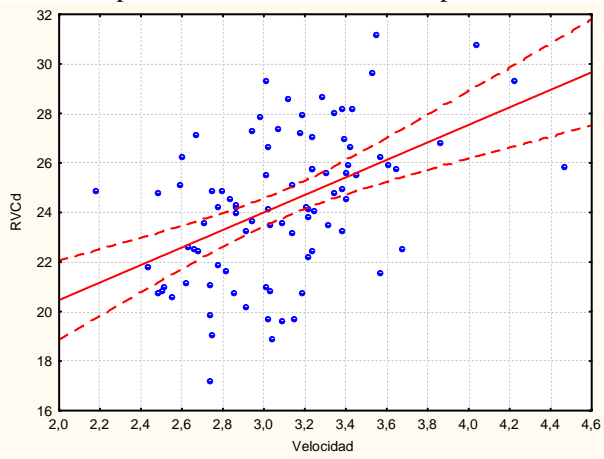
Máxima elevación de la corona torácica



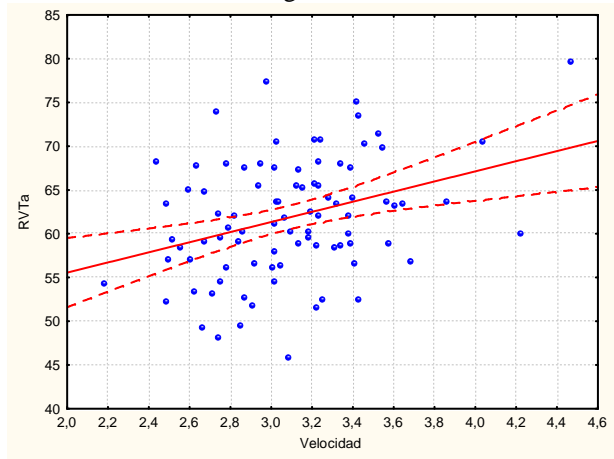
Amplitud del tranco del miembro pelviano



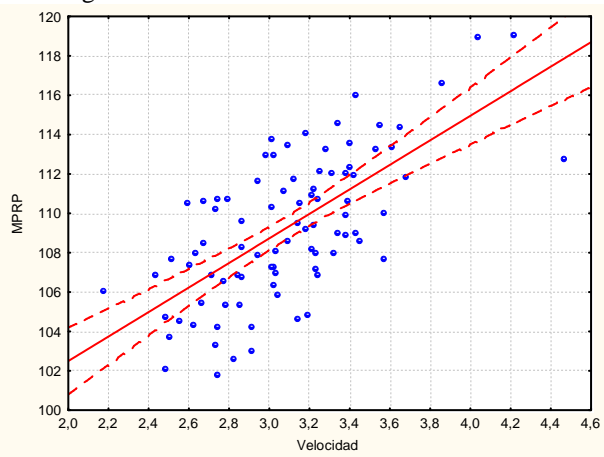
Distancia, o longitud, de sobrehuella



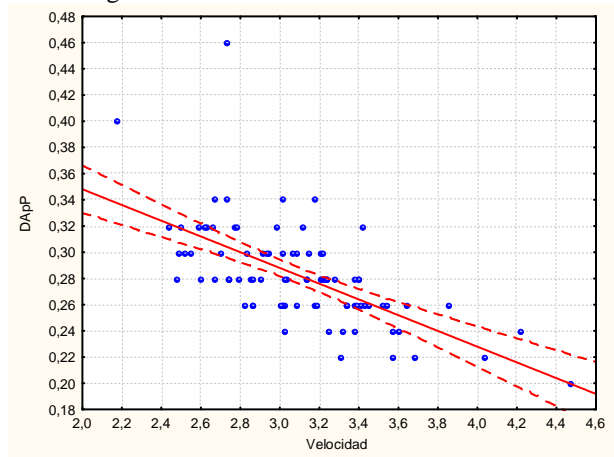
Rango de variación de la articulación de la cadera



Rango de variación de la articulación del tarso



Ángulo máximo de pro-retracción del m. pelviano



Duración de la fase de apoyo del miembro pelviano

Anexo 3: Correlaciones entre ángulos articulares y inclinaciones en el instante de apoyo medio

	HOM	COD	CAR	MET	CAD	ROD	TAR	MEP
IEsp	0,68	-0,13	0,02	-0,07	0,35	0,33	0,08	0,01
Ibrz	-0,62	-0,80	0,22	-0,12	0,06	0,14	0,14	0,03
IAbz	-0,13	0,43	0,99	-0,26	0,11	0,14	0,14	-0,03
ICaT	0,22	0,29	0,09	0,06	0,03	0,10	0,10	0,04
ICuT	-0,03	0,06	0,28	-1,00	0,09	0,29	0,26	-0,32
IGrp	0,16	0,06	0,08	0,12	0,73	0,36	0,20	0,00
IMus	0,21	-0,03	0,09	-0,20	0,89	0,91	0,14	-0,17
IPie	0,06	0,05	-0,12	0,27	-0,19	-0,52	-0,99	-0,14
ICaP	0,14	0,08	0,12	0,07	0,14	0,14	0,30	0,08
ICuP	0,02	0,05	0,04	-0,31	0,13	0,10	-0,13	-1,00

Nota: se señalan en negrita los valores de r entre ángulos y inclinaciones respectivas. HOM – hombro; COD – codo; CAR – carpo; MET – menudillo torácico; CAD – cadera; ROD – rodilla; TAR – tarso; MEP – menudillo pelviano.

Anexo 4: Correlaciones entre ángulos y var. biocinemáticas

	HOM	COD	CAR	MET	CAD	ROD	TAR	MEP
AmpT	0,31**	-0,04	0,06	0,07	0,42***	0,38***	-0,12	-0,00
RVHo	0,12	0,22*	0,12	-0,14	-0,07	0,00	0,06	0,11
RVCo	-0,02	0,06	0,12	0,21	0,02	-0,08	-0,18	0,24*
RVCa	-0,08	-0,03	0,12	0,30**	0,23*	0,09	-0,12	0,17
RVMeT	-0,01	0,06	0,07	0,47***	0,04	-0,16	-0,13	0,26*
MPRT	0,25*	-0,36***	-0,09	-0,10	0,21*	0,24*	0,06	-0,02
minPRT	0,12	-0,12	-0,14	-0,33**	-0,13	-0,05	0,18	-0,15
DApT	-0,24*	-0,18	-0,20	0,05	-0,27*	-0,26*	0,04	0,06
DVuT	0,11	0,12	0,17	-0,10	0,31**	0,31**	0,02	-0,15
MElevT	-0,03	0,16	0,02	0,08	-0,23*	-0,23*	-0,07	0,14
AmpP	0,33**	-0,01	0,07	0,04	0,39***	0,36***	-0,13	0,02
DSobr	0,19	-0,04	0,11	0,11	0,47***	0,35***	-0,09	-0,08
RVCd	0,19	-0,01	0,09	-0,06	0,62***	0,54***	-0,04	0,04
RVRo	-0,01	-0,02	0,08	0,28**	-0,16	-0,19	-0,27*	0,08
RVTa	0,01	0,01	0,07	0,26*	-0,05	-0,17	-0,37**	0,33**
RVMeP	0,02	0,09	0,01	0,26*	0,03	0,01	-0,03	0,37***
MPRP	0,33**	-0,00	0,11	-0,05	0,70***	0,60***	-0,02	0,12
minPRP	0,24*	-0,08	0,04	-0,19	0,68***	0,65***	0,10	-0,12
DApP	-0,19	0,06	-0,17	0,09	-0,20	-0,26*	-0,03	0,15
DVuP	0,12	-0,05	0,17	-0,08	0,30**	0,30**	0,03	-0,19
MElevP	-0,16	0,06	0,02	0,02	-0,41***	-0,34**	-0,13	0,16
PRT_ran	0,16	-0,26*	0,02	0,15	0,32**	0,28**	-0,08	0,09
PRP_ran	0,20	0,08	0,10	0,11	0,27*	0,17	-0,11	0,26*

Nota 1: Se señalan con asteriscos los valores estadísticamente significativos; * - p<0,05; ** - p<0,01; *** - p<0,001;

Anexo 5A:

Resultados del ANOVA entre los grupos Aptitud Indeterminada, Doma y Rejoneo – variables morfométricas

Variable	INDETERMINADA (med. ± d.P.)	DOMA (med. ± d.P.)	REJONEO (med. ± d.P.)	Valor de F
LEsp	34,85 ± 2,96	34,36 ± 2,41	34,28 ± 2,91	0,38
LBrz	30,60 ± 1,99	30,20 ± 2,51	30,53 ± 1,67	0,32
LAbz	36,85 ± 2,14 ^a	38,03 ± 2,33 ^b	36,70 ± 1,7 ^a	3,46*
LCaT	21,88 ± 1,08 ^{ab}	22,47 ± 1,53 ^b	21,40 ± 1,73 ^a	3,56*
LCuT	12,75 ± 1,15 ^b	12,08 ± 1,22 ^a	11,88 ± 0,96 ^a	4,31*
AlzCz	151,26 ± 3,94	149,59 ± 5,17	150,95 ± 3,83	1,34
IEsp	61,07 ± 3,63 ^a	65,17 ± 5,40 ^b	59,60 ± 3,52 ^a	11,71***
Ibrz	141,09 ± 4,79	142,08 ± 4,65	142,31 ± 4,77	0,54
IAbz	92,22 ± 3,31	92,66 ± 3,08	93,38 ± 2,75	0,73
ICaT	89,97 ± 0,28	89,98 ± 0,34	90,12 ± 0,33	1,25
ICuT	33,78 ± 7,65	36,67 ± 6,53	38,00 ± 8,17	2,30
LGrp	39,85 ± 4,22 ^b	33,68 ± 4,10 ^a	39,62 ± 4,02 ^b	23,60***
LMus	43,40 ± 3,98	43,35 ± 4,55	42,68 ± 5,35	0,15
LPie	32,28 ± 2,96	31,83 ± 2,87	32,94 ± 4,56	0,65
LCaP	27,82 ± 1,35	28,41 ± 1,42	27,53 ± 1,57	2,65
LCuP	12,54 ± 1,24	12,24 ± 1,13	12,37 ± 1,01	0,60
LDor	71,77 ± 4,31 ^{ab}	74,58 ± 7,64 ^b	69,82 ± 3,99 ^a	4,08*
LTrc	143,74 ± 6,66 ^b	135,53 ± 6,61 ^a	143,18 ± 5,15 ^b	17,00***
AlzCx	137,89 ± 4,53	136,64 ± 5,63	136,28 ± 5,22	0,75
IGrp	19,93 ± 4,77 ^a	25,79 ± 5,43 ^b	18,95 ± 5,82 ^a	15,04***
IMus	79,43 ± 4,38 ^a	90,81 ± 8,70 ^b	80,05 ± 6,89 ^a	28,01***
IPie	123,91 ± 4,48	122,63 ± 3,73	123,25 ± 4,62	0,85
ICaP	89,97 ± 0,62	90,02 ± 0,57	89,85 ± 0,50	0,45
ICuP	49,59 ± 9,97 ^b	49,24 ± 7,81 ^b	39,90 ± 8,26 ^a	7,27**

Notas:

1. Se señalan con asteriscos los valores estadísticamente significativos; * - p<0,05; ** - p<0,01; *** - p<0,001;
2. La separación de medias se ejecutó mediante un test de Tukey; letras diferentes significan valores estadísticamente diferentes.

Anexo 5B:

Resultados del ANOVA y del ANCOVA entre los grupos Aptitud Indeterminada, Doma y Rejoneo con la Velocidad como covariable – variables biocinemáticas

Variable	CRIA (med. ± d.E.) Velocidad: 3,00 ± 0,37 m/s	DOMA (med. ± d.E.) Velocidad: 3,21 ± 0,45 m/s	REJONEO (med. ± d.E.) Velocidad: 2,96 ± 0,21 m/s	Valor de F Covariable VELOCIDAD	Valor de F Factor APTITUD
AmpT	211,63 ± 19,22 ^a	230,29 ± 30,07 ^b	212,30 ± 17,59 ^a	389,15***	3,26*
RVHo	10,19 ± 1,97	9,56 ± 2,44	10,35 ± 2,88	2,71	1,61
RVCo	61,73 ± 6,26	62,15 ± 5,77	64,53 ± 3,17	4,78*	1,91
RVCa	92,88 ± 7,45	92,81 ± 7,68	92,79 ± 8,21	5,40*	0,23
RVMeT	86,81 ± 7,87	86,96 ± 9,62	84,37 ± 8,60	0,59	0,40
MPRT	99,90 ± 2,96 ^a	101,74 ± 3,05 ^b	100,71 ± 2,33 ^{ab}	15,59***	1,79
mPRT	64,05 ± 2,06	64,80 ± 2,70	64,57 ± 2,08	10,94**	2,46
DAPt	0,32 ± 0,04 ^b	0,30 ± 0,03 ^a	0,32 ± 0,03 ^b	66,45***	0,97
DVuT	0,39 ± 0,03 ^a	0,42 ± 0,04 ^b	0,40 ± 0,05 ^{ab}	2,00	3,80*
MElevT	28,59 ± 4,26 ^b	25,48 ± 3,76 ^a	29,48 ± 3,67 ^b	5,98*	10,95***
AmpP	213,81 ± 20,43 ^a	232,91 ± 33,18 ^b	215,46 ± 18,89 ^a	410,42***	2,31
DSobr	-13,87 ± 7,96 ^a	-6,95 ± 9,20 ^b	-13,45 ± 8,16 ^a	78,31***	2,99
RVCd	23,51 ± 2,44 ^a	25,45 ± 2,87 ^b	23,31 ± 3,35 ^a	18,62***	2,60
RVRo	48,54 ± 4,27	47,07 ± 4,23	46,09 ± 4,65	5,32*	2,67
RVTa	62,10 ± 6,52	61,01 ± 6,23	63,43 ± 8,69	15,37***	2,66
RVMeP	102,26 ± 12,19	102,72 ± 10,15	106,82 ± 10,44	0,41	1,06
MPRP	106,95 ± 2,66 ^a	111,55 ± 3,48 ^c	108,92 ± 2,85 ^b	67,72***	19,53***
mPRP	65,54 ± 2,11 ^a	69,06 ± 2,25 ^b	66,85 ± 1,88 ^a	0,40	22,05***
DAPp	0,28 ± 0,03 ^a	0,27 ± 0,03 ^a	0,31 ± 0,05 ^b	54,78***	4,56*
DVuP	0,43 ± 0,04 ^{ab}	0,45 ± 0,04 ^b	0,41 ± 0,06 ^a	3,25	3,38*
MElevP	22,78 ± 3,99 ^b	19,13 ± 2,97 ^a	24,50 ± 3,31 ^b	1,36	17,56***

Notas:

1. Se señalan con asteriscos los valores estadísticamente significativos; * - p<0,05; ** - p<0,01; *** - p<0,001;

2. La separación de medias se ejecutó mediante un test de Tukey; letras diferentes significan valores estadísticamente diferentes.



NOTAS

