



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

DEPARTAMENTO DE GENÉTICA

**EVALUACIÓN DEL ESQUEMA DE SELECCIÓN DE LA RAZA
EQUINA
HISPANO - ÁRABE**

TESIS DOCTORAL DE:

MAYRA GÓMEZ CARPIO

Córdoba, España

2016

TITULO: *Evaluación del esquema de selección de la raza equina hispano-árabe.*

AUTOR: *Mayra Mercedes Gómez Carpio*

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

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

D. Juan Vicente Delgado Bermejo, Doctor en Veterinaria y Profesor titular de la Universidad de Córdoba, y **D. José Manuel León Jurado**, Doctor en Veterinaria y funcionario de la Diputación de Córdoba, en su calidad de Directores de la Tesis Doctoral de D^a Mayra Mercedes Gómez Carpio.

IIFORMAN:

Que la tesis titulada “EVALUACIÓN DEL ESQUEMA DE SELECCIÓN DE LA RAZA EQUINA HISPANO – ÁRABE”, realizada por Dña. Mayra Mercedes Gómez Carpio bajo nuestra dirección y asesoramiento, en el Departamento de Genética de la Universidad de Córdoba, reúne las condiciones y calidad científica necesaria para su lectura y defensa con vistas a optar al Título de Doctor.

Para que conste y a los efectos oportunos, firmo el presente.

Córdoba a 1 de febrero del 2016.



Dr. Juan Vicente Delgado Bermejo



Dr. José Manuel León Jurado



TÍTULO DE LA TESIS: EVALUACIÓN DEL ESQUEMA DE SELECCIÓN DE LA RAZA EQUINA HISPANO-ÁRABE

DOCTORANDO/A: MAYRA MERCEDES GÓMEZ CARPIO

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

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

La consecución de los objetivos propuestos en esta Tesis Doctoral tiene su base en el Programa de Mejora Genética del Caballo Hispano-Árabe aprobado por el MAGRAMA el (Orden APA/2129/2008, de 26 de diciembre, BOE 23, de 27 de enero de 2009). En una primera fase se iniciaron una serie de contactos con la Unión Española de Ganaderos de Pura Raza Hispano-Árabe para el diseño de los protocolos de control de rendimientos, tanto en lo que a la calificación de la conformación (armonía) como la calificación y registro de los aires (paso, trote y galope) se refiere.

En una segunda etapa se llevaron a cabo los análisis demográficos de la población con la finalidad de conocer las pirámides de edades, tamaños efectivos e incrementos de consanguinidad, para de esta forma poder abordar un adecuado plan de mejora genética.

Una vez puestas a punto las bases de datos de genealogía y control de rendimientos se realizaron las correspondientes evaluaciones genéticas para los caracteres de armonía, paso, trote y galope, así como también la estimación de parámetros genéticos y el cálculo de las tendencias genéticas y fenotípicas, teniendo también en cuenta los niveles de sangre de los individuos de la población. En este aspecto se compararon la metodología infinitesimal y Bayesiana para determinar su eficiencia en el cálculo de parámetros genéticos como los valores de cría. De esto resultó una importante optimización de los métodos de cálculo, a la vez que presentaron avances de gran interés para la comunidad científica.

En un interesante e innovador capítulo final, se propusieron la estimación de los coeficientes de adscripción molecular a la raza Árabe como covariable eficiente para corregir los efectos de heterosis en los modelos matemáticos de evaluación genética, sustituyendo los valores empíricos basados en el pedigrí utilizados hasta ahora. Este estudio es de sumo interés en una raza híbrida como esta, en la que los niveles de sangre son heterogéneos y pueden sesgar con efectos de dominancia, de epistasia y las estimaciones de los valores genéticos aditivos y, por tanto, afectar a la fiabilidad de los mismos.

Entendemos que el presente trabajo por su exhaustividad, originalidad y aplicabilidad es una gran aportación para la ciencia en general y para el sector equino en especial, por ello declaramos nuestro convencimiento en su madurez para ser defendido para la obtención del grado de doctora por parte de D^a Mayra Mercedes Gómez Carpio.

Publicaciones:

- Gómez-Carpio, Mayra; Landi-Periati, Vincenzo; Martínez-Martínez, María Amparo; León-Jurado, José Manuel; Fernández, J.; Vega-Pla, José Luis; Delgado-Bermejo, Juan Vicente. 2014. *Estudio preliminar del componente racial en el caballo Hispano-Árabe utilizando marcadores moleculares*. Actas Iberoamericanas de Conservación Animal. Vol. 4.:330-332.
- Gómez-Carpio, Mayra; León-Jurado, José Manuel; Fernández, Javier; Landi-Periati, Vincenzo; Delgado-Bermejo, Juan Vicente. 2013. *Genetic progress in harmony and movements traits in Spanish Arabian horses*. Italian Journal of Animal Science. Vol. 12.: 75.
- Gómez-Carpio, Mayra; Fernández-Álvarez, Javier; Delgado-Bermejo, Juan Vicente. 2011. *Comportamiento de los niveles de consanguinidad en la raza equina Hispano-Árabe*. Actas Iberoamericanas de Conservación Animal. Vol. 1.: 98-101.
- Gómez-Carpio, Mayra; León-, J. M.; Delgado-Bermejo, Juan Vicente. 2011. *Análisis demográfico de la raza equina Hispano-Árabe*. Archivos de zootecnia. Vol. 60.: 341-344.
- Gómez-Carpio, Mayra; León-Jurado, José Manuel; Rodríguez-De La Borbolla, A.; Peláez-, Jesús; Delgado-Bermejo, Juan Vicente. 2009. *Parámetros genéticos de los caracteres de funcionalidad de la raza equina Hispano-Árabe*. FEAGAS. Nº 35: 145-148.
- Gómez-Carpio, Mayra; León-Jurado, José Manuel; Rodríguez-, Antonio; Peláez-, J; Delgado-Bermejo, Juan Vicente. 2008. *Evolución genética para los caracteres de funcionalidad de la raza equina Hispano-Árabe*. FEAGAS. Nº 34: 191-195.

Trabajos en Congresos:

- Gómez-Carpio, Mayra; León-Jurado, José Manuel; Fernández-Álvarez, Javier; Delgado-Bermejo, Juan Vicente. 2013. *Resultados preliminares del estudio de efectos fijos y test de normalidad en los caracteres de conformación y movilidad del caballo Hispano-Árabe*. XIV Simposio Iberoamericano sobre Conservación y Utilización de Recursos Zoogenéticos. Concepción, Chile.
- Gómez-Carpio, Mayra; Attalla, S. A.; Fernández, Javier; León-Jurado, José Manuel; Carolino, Nuno; Gama, Luis Telo; Delgado-Bermejo, Juan Vicente. **2012**. *Preliminary comparative analysis of the application of infinitesimal and threshold models in the estimation of genetic parameters of harmony and movements traits in spanish-*

arabian horses. VIII Congreso Ibérico sobre Recursos Genéticos Animais. Évora, Portugal.

- Gómez-Carpio, Mayra; León-Jurado, José Manuel; Delgado-Bermejo, Juan Vicente. 2010. *Análisis demográfico de la población equina Hispano-Árabe*. VII Congreso Ibérico sobre Recursos Genéticos Animales. Gijón, España.
- Gómez-Carpio, Mayra; León-Jurado, José Manuel; Delgado-Bermejo, Juan Vicente. 2010. *Estudio de las tendencias genéticas y fenotípicas para los caracteres de funcionalidad de la raza equina Hispano-Árabe*. XI Simposio Iberoamericano sobre Conservación y Utilización de Recursos Zoogenéticos. Joao Pessoa, Paraíba Brasil.
- Gómez-Carpio, Mayra; León-Jurado, José Manuel; Rodríguez-De La Borbolla, A.; Peláez-García De La Puerta, Jesús; Delgado-Bermejo, Juan Vicente. 2009. *Evaluación genética para los caracteres de funcionalidad de la raza Hispano-Árabe*. X Simposio Iberoamericano sobre Conservación y Utilización de Recursos Zoogenéticos. Palmira, Colombia.
- Gómez-Carpio, Mayra; León-Jurado, José Manuel; Rodríguez-De La Borbolla, A.; Peláez-García De La Puerta, Jesús; Delgado-Bermejo, Juan Vicente. 2009. *Parámetros genéticos de los caracteres de funcionalidad de la raza equina Hispano-Árabe*. X Simposio Iberoamericano sobre Conservación y Utilización de Recursos Zoogenéticos. Palmira, Colombia.

Por todo ello, se autoriza la presentación de la tesis doctoral.

Córdoba, 1 de febrero de 2016

Firma de los directores

Fdo.: Juan Vicente Delgado Bermejo

Fdo.: José Manuel León Jurado

Dedicado a:

*A mi padre, Manuel Ernesto
mis hermanos, Verónica, Ernesto y Rosi
mi esposo, Vince*

Agradecimientos

Me gustaría dar las gracias a todas aquellas personas (familiares, amigos y profesores) que de distinta forma han participado y contribuido al desarrollo de esta tesis:

En primer lugar ¡GRACIAS! MUCHAS GRACIAS Juanvi, por facilitar desde la distancia el primer contacto y mi llegada a Córdoba y brindarme la oportunidad de formar parte de tu Grupo PAIDI-AGR218. Gracias por tu trabajo y apoyo en la dirección de la tesis, gracias por tus enseñanzas y por depositar tu confianza en mí. Más que un director de tesis eres mi amigo.

A José, por su aportación de ideas, correcciones, por su ayuda en la obtención, preparación y análisis de datos, eres todo un ejemplo de esfuerzo, superación y abnegación por lo que haces.

Al grupo de investigación PAIDI AGR-218, por darme la oportunidad de formarme en esta emocionante vocación y permitirme realizar este trabajo. Muchas gracias Amparo, Espe, José Luis, Cecilio, Sergio...¡¡Gracias amigos!!

A Luis Gama y Cristina, por su apoyo científico y por abrirme las puertas de su casa cuando hiciera falta. Gracias Nuno, por estar siempre dispuesto a echarme una mano en las dudas que me surgían. Gracias amigos portugueses.

A Quiqui, gracias por tu apoyo, tu amabilidad y disposición en todo momento y porque siempre supe que podía contar contigo.

A mi madre, por su apoyo incondicional, comprensión y cariño, por no exigir nunca nada y darme todo lo que tenía. A mis hermanas y hermano por estar siempre ahí cuando les necesitaba. Los quiero.

Y no podía faltar, agradecerle al amor de mi vida, Vincenzo, gracias por tu apoyo, comprensión y hacer todo lo que haga falta para darme tu ayuda y ánimos siempre que los necesitaba. Te lo mereces por lo "sufrido". Gracias por todo amorino!!!

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. ANTECEDENTES	4
2.1.- Distribución geográfica, censo y usos	6
2.2.- Evolución del control de rendimiento.....	10
3. GESTIÓN DEL LIBRO GENEALÓGICO	14
3.1.- Registro de Nacimiento.....	14
3.2.- Registro Definitivo.....	15
3.3.- Registro Auxiliar	17
3.4.- Valoración para la inscripción en el Registro Definitivo	17
3.5.- Prototipo racial del caballo de Pura Raza Hispano-Árabe	18
4. ESQUEMA DE SELECCIÓN DE LA RAZA EQUINA HISPANO-ÁRABE	19
4.1.- Objetivos y criterios de selección	20
4.2.- Control de rendimientos	21
4.3.- Valoración Genética	23
4.4.- Diagrama-Resumen del Programa de Mejora del Caballo de Pura Raza Hispano-Árabe	25
5. OBJETIVOS	25
6. BIBLIOGRAFÍA	26
Capítulo I: ANÁLISIS DEL PEDIGRÍ EN EL CABALLO HISPANO-ÁRABE	28
1.1.- RESUMEN	29
1.2.- INTRODUCCIÓN	31
1.3.- MATERIAL Y MÉTODOS	33
1.3.1.- Datos de la población	33
1.3.2.- Análisis del pedigrí.....	33
1.3.3.- Parámetros demográficos	34
1.3.4.- Parámetros de diversidad genética.....	34
1.4.- RESULTADOS	37
1.5.- DISCUSIÓN.....	46
1.6.- CONCLUSIONES	56
1.7.- BIBLIOGRAFÍA	57
Capítulo II: ANÁLISIS DE EFECTOS FIJOS SOBRE LOS CARACTERES DE CONFORMACIÓN Y MOVIMIENTOS	60
2.1.- RESUMEN	61
2.2.- INTRODUCCIÓN	63

2.3.-	MATERIAL Y MÉTODOS	65
2.3.1.-	Descripción de los datos.....	65
2.3.2.-	Análisis estadísticos.....	68
2.4.-	RESULTADOS	70
2.4.1.-	Estadísticos descriptivos.	70
2.4.1.1.	Armonía.....	70
2.4.1.2.	Paso	76
2.4.1.3.	Trote	82
2.4.1.4.	Galope	88
2.4.2.-	Análisis multifactoriales	94
2.4.2.1.	Armonía.....	94
2.4.2.2.	Paso	99
2.4.2.3.	Trote	103
2.4.2.4.	Galope	107
2.4.3.-	Análisis Unifactoriales	112
2.4.3.1.	Armonía.....	112
2.4.3.2.-	Paso	113
2.4.3.3.-	Trote.....	113
2.4.3.4.-	Galope	114
2.5.-	DISCUSIÓN.....	114
2.5.1.-	Estadísticos descriptivos.	114
2.5.2.-	Análisis Multifactorial.	123
2.5.3.-	Análisis Unifactorial.	123
2.6.-	CONCLUSIONES	125
2.7.-	BIBLIOGRAFÍA.....	126
Capítulo III: GENETIC PARAMETERS FOR HARMONY AND GAITS IN HISPANO-ARABE HORSES ESTIMATED BY RESTRICTED MAXIMUM LIKELIHOOD AND BAYESIAN METHODS		131
3.1.-	ABSTRACT	132
3.2.-	INTRODUCTION	132
3.3.-	MATERIAL AND METHODS	135
3.3.1.-	Data description	135
3.3.2.-	Trait description	135
3.3.3.-	Statistical and genetic analyses.....	136
3.3.4.-	Pedigree information	137
3.3.5.-	Software	138
3.3.6.-	Comparison of methodologies	138

3.4.-	RESULTS.....	139
3.4.1.-	Descriptive statistics.....	139
3.4.2.-	Fixed effects	139
3.4.3.-	Variance components.....	140
3.4.4.-	Heritability and repeatability estimates.....	140
3.4.5.-	Phenotypic and genetic correlations.....	141
3.4.6.-	Comparison of methodologies	141
3.5.-	DISCUSSION	142
3.6.-	CONCLUSIONS	147
3.7.-	REFERENCES	147
Capítulo IV: EVALUACIÓN GENÉTICA PARA LOS CARACTERES DE CONFORMACIÓN Y MOVIMIENTOS		155
4.1.-	RESUMEN	156
4.2.-	INTRODUCCIÓN	158
4.3.-	MATERIALY MÉTODOS	162
4.3.1.-	Evaluación genética	162
4.3.2.-	Tendencias genéticas y fenotípicas.....	166
4.3.3.-	Evolución de precisiones.....	166
4.3.4.-	Evolución de la información.....	167
4.4.-	RESULTADOS	167
4.4.1.-	Evaluación genética	167
4.4.2.-	Tendencias genéticas y fenotípicas.....	172
4.4.3.-	Evolución de precisiones.....	177
4.4.4.-	Evolución de la información.....	178
4.5.-	DISCUSIÓN.....	185
4.6.-	CONCLUSIONES	193
4.7.-	BIBLIOGRAFÍA.....	194
Capítulo V: ESTUDIO GENÉTICO EN EL CABALLO HISPANO-ÁRABE:		197
5.1.-	RESUMEN	198
5.2.-	INTRODUCCIÓN	200
5.3.-	MATERIAL Y MÉTODOS	203
5.3.1.-	Caracterización genética	203
5.3.2.-	Métodos de Asignación de individuos a poblaciones	206
5.3.3.-	Análisis de asignación.....	207
5.3.4.-	Análisis del uso de los porcentajes de sangre vs. los coeficientes de asignación.	208
5.4.-	RESULTADOS	209

5.4.1.	Caracterización genética	209
5.4.2.	Métodos de Asignación de individuos a poblaciones	218
5.4.3.	Asignación de los individuos a las poblaciones predefinidas	225
5.4.4.	Análisis del uso de los porcentajes de sangre vs los coeficientes de asignación 227	
5.5.-	DISCUSIÓN.....	230
5.6.-	CONCLUSIONES	236
5.7.-	BIBLIOGRAFÍA.....	238
	CONCLUSIONES GENERALES	242

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.- Nivel de completitud del pedigrí en el caballo Hispano - Árabe.....	39
Tabla 1.2.- Edad promedio de los progenitores al nacimiento de sus hijos (media y D.E.), para toda la población y para la población de referencia en el caballo Hispano Árabe (animales nacidos entre 2009 y 2013).....	40
Tabla 1.3.- Intervalo generacional (media y D.E.), para toda la población y para la población de referencia en el caballo Hispano-Árabe (animales nacidos entre 2009 y 2013).....	40
Tabla 1.4.- Análisis de las probabilidades del origen de los genes en la población de referencia el caballo Hispano-Árabe (animales nacidos entre 2009 y 2013).....	41
Tabla 1.5.- Valores de los principales parámetros de endogamia encontrados en el caballo Hispano-Árabe.....	46
Tabla 2.1.- Estadísticos descriptivos para el carácter de conformación “armonía” en la raza equina Hispano – Árabe.....	70
Tabla 2.2.- Estadísticos descriptivos para el carácter de conformación “armonía” en función del Grupo de Manejo en la raza equina Hispano – Árabe.....	71
Tabla 2.3.- Estadísticos descriptivos para el carácter de conformación “armonía” en función del sexo en la raza equina Hispano – Árabe.....	72
Tabla 2.4.- Estadísticos descriptivos para el carácter de conformación “armonía” en función del año de calificación en la raza equina Hispano – Árabe.....	73
Tabla 2.5.- Estadísticos descriptivos para el carácter de conformación “armonía” en función de la época de calificación en la raza equina Hispano – Árabe.....	73
Tabla 2.6.- Estadísticos descriptivos para el carácter de conformación “armonía” en función del tipo de prueba en la raza equina Hispano – Árabe.....	74
Tabla 2.7.- Estadísticos descriptivos para el carácter de conformación “armonía” en función del nivel de sangre en la raza equina Hispano – Árabe.....	74
Tabla 2.8.- Estadísticos descriptivos para el carácter de conformación “armonía” en función de la edad de calificación en la raza equina Hispano – Árabe.....	75
Tabla 2.9.- Estadísticos descriptivos para el carácter de conformación “armonía” en función del juez en la raza equina Hispano – Árabe.....	76
Tabla 2.10.- Estadísticos descriptivos para el carácter “paso” en la raza equina Hispano – Árabe.....	76
Tabla 2.11.- Estadísticos descriptivos para el carácter “paso” en función del Grupo de Manejo en la raza equina Hispano – Árabe.....	77
Tabla 2.12.- Estadísticos descriptivos para el carácter “paso” en función del sexo en la raza equina Hispano – Árabe.....	78
Tabla 2.13.- Estadísticos descriptivos para el carácter “paso” en función del año de calificación en la raza equina Hispano – Árabe.....	79

Tabla 2.14.- Estadísticos descriptivos para el carácter “paso” en función de la época de calificación en la raza equina Hispano – Árabe.....	79
Tabla 2.15.- Estadísticos descriptivos para el carácter “paso” en función del tipo de prueba en la raza equina Hispano – Árabe.....	80
Tabla 2.16.- Estadísticos descriptivos para el carácter “paso” en función del nivel de sangre en la raza equina Hispano – Árabe.....	80
Tabla 2.17.- Estadísticos descriptivos para el carácter “paso” en función de la edad de calificación en la raza equina Hispano – Árabe.....	81
Tabla 2.18.- Estadísticos descriptivos para el carácter “paso” en función del juez en la raza equina Hispano – Árabe.....	82
Tabla 2.19.- Estadísticos descriptivos para el carácter “trote” en la raza equina Hispano – Árabe.....	83
Tabla 2.20.- Estadísticos descriptivos para el carácter “trote” en función del Grupo de Manejo en la raza equina Hispano – Árabe.....	83
Tabla 2.22.- Estadísticos descriptivos para el carácter “trote” en función del año de calificación en la raza equina Hispano – Árabe.....	85
Tabla 2.23.- Estadísticos descriptivos para el carácter “trote” en función de la época de calificación en la raza equina Hispano – Árabe.....	85
Tabla 2.24.- Estadísticos descriptivos para el carácter “trote” en función del tipo de prueba en la raza equina Hispano – Árabe.....	86
Tabla 2.25.- Estadísticos descriptivos para el carácter “trote” en función del nivel de sangre en la raza equina Hispano – Árabe.....	86
Tabla 2.26.- Estadísticos descriptivos para el carácter “trote” en función de la edad de calificación en la raza equina Hispano – Árabe.....	87
Tabla 2.27.- Estadísticos descriptivos para el carácter “trote” en función del juez en la raza equina Hispano – Árabe.....	88
Tabla 2.28.- Estadísticos descriptivos para el carácter “galope” en la raza equina Hispano – Árabe.....	89
Tabla 2.30.- Estadísticos descriptivos para el carácter “galope” en función del sexo en la raza equina Hispano – Árabe.....	90
Tabla 2.31.- Estadísticos descriptivos para el carácter “galope” en función del año de calificación en la raza equina Hispano – Árabe.....	91
Tabla 2.32.- Estadísticos descriptivos para el carácter “galope” en función de la época de calificación en la raza equina Hispano – Árabe.....	91
Tabla 2.33.- Estadísticos descriptivos para el carácter “galope” en función del tipo de prueba en la raza equina Hispano – Árabe.....	92
Tabla 2.34.- Estadísticos descriptivos para el carácter “galope” en función del nivel de sangre en la raza equina Hispano – Árabe.....	92

Tabla 2.35.- Estadísticos descriptivos para el carácter “galope” en función de la edad de calificación en la raza equina Hispano – Árabe.....	93
Tabla 2.36.- Estadísticos descriptivos para el carácter “galope” en función del juez en la raza equina Hispano – Árabe.	94
Tabla 2.37.- Análisis de la varianza para el carácter de conformación “armonía” en la raza equina Hispano – Árabe.	95
Tabla 2.38.- Análisis de la varianza para el carácter “paso” en la raza equina Hispano – Árabe.	100
Tabla 2.39.- Análisis de la varianza para el carácter “trote” en la raza equina Hispano – Árabe.	104
Tabla 2.40.- Análisis de la varianza para el carácter “galope” en la raza equina Hispano – Árabe.	108
Tabla 2.41.- Análisis unifactoriales simples de los efectos de los distintos factores sobre el rendimiento del carácter armonía.	113
Tabla 2.42.- Análisis unifactoriales simples de los efectos de los distintos factores sobre el rendimiento del carácter paso.	113
Tabla 2.43.- Análisis unifactoriales simples de los efectos de los distintos factores sobre el rendimiento del carácter trote.....	114
Tabla 2.44.- Análisis unifactoriales simples de los efectos de los distintos factores sobre el rendimiento del carácter galope.....	114
Table 3.1. Number of animals (N) with one, two, three and more than four observations per trait in males (M) and females (F).....	151
Table 3.2. Number of records (N), Mean, standard deviation (SD), minimum (Min), maximum (Max) and coefficient of variation (CV) for traits evaluated in Hispano - Arabe horses... ..	151
Table 3.3. Estimates of fixed effects (BLUE) and lineal regression coefficient ($b \pm SE$) for the various traits analysed, obtained in REML analyses.	151
Table 3.4. Estimated components of variance for the harmony and movement traits obtained from multivariate analyses by REML and Gibbs sampling methods in Hispano - Arabe horses.	152
Table 3.5.- Genetic parameters with their corresponding standard errors estimated from multivariate analyses by REML and Gibbs sampling for the traits analysed in Hispano-Arabe horses. Heritability and repeatability are in the first and second line on the diagonal, respectively, additive genetic correlations are above diagonal and phenotypic correlations are below diagonal.....	153
Tabla 4.1. Componentes de varianza utilizados en la Evaluación Genética de los caracteres de conformación y movilidad en el caballo Hispano-Árabe.....	166
Tabla 4.2. Valores genéticos y precisión obtenidos en los machos de la raza equina Hispano – Árabe.....	168

Tabla 4.3. Valores genéticos y precisión obtenidos en las hembras de la raza equina Hispano – Árabe.	168
Tabla 4.4. Ranking de machos obtenidos por su valor genético para el carácter armonía en la raza equina Hispano – Árabe.	169
Tabla 4.5. Ranking de machos obtenidos por su valor genético para el carácter paso en la raza equina Hispano – Árabe.	169
Tabla 4.6. Ranking de machos obtenidos por su valor genético para el carácter trote en la raza equina Hispano – Árabe.	170
Tabla 4.7. Ranking de machos obtenidos por su valor genético para el carácter galope en la raza equina Hispano – Árabe.	170
Tabla 4.8. Ranking de hembras obtenidas por su valor genético para el carácter armonía en la raza equina Hispano – Árabe.	171
Tabla 4.9. Ranking de hembras obtenidas por su valor genético para el carácter paso en la raza equina Hispano – Árabe.	171
Tabla 4.10. Ranking de hembras obtenidas por su valor genético para el carácter trote en la raza equina Hispano – Árabe.	172
Tabla 4.11. Ranking de hembras obtenidas por su valor genético para el carácter galope en la raza equina Hispano – Árabe.	172
Tabla 4.12. Progreso genético anual medio para los caracteres armonía, paso, trote y galope del caballo Hispano – Árabe.	175
Tabla 4.13. Porcentaje de animales con precisión superior al 0,60.	178
Tabla 4.14. Hispano – Árabes que han obtenido el máximo galardón de concursos interraciales.	185
Tabla 5.1. Nombre de las razas equinas analizadas con su respectivo acrónimo, número de animales analizados (N), Heterocigosidad media esperada (He), Heterocigosidad media observada (Ho) y número medio de alelos (NMA) con sus correspondientes desviaciones estándar; Riqueza alélica (RA); Fis con un intervalo de confianza del 95% calculado con 1000 permutaciones.	210
Tabla 5.2. Desviaciones respecto al equilibrio Hardy-Weinberg de las cuatro poblaciones por cada microsatélite.	211
Tabla 5.3. Valores de Fis, Fst y Fit y valor promedio obtenidos con cada uno de los 17 microsatélites.	212
Tabla 5.4. Análisis molecular de la varianza entre grupos.	212
Tabla 5.5. FST entre los pares de poblaciones analizadas.	213
Tabla 5.6. Proporción de genoma para cada población. En la última fila aparece el valor el parámetro F_{ST} que es un indicador del grado de separación genética entre las poblaciones muestreadas.	218

Tabla 5.7. Asignación de las muestras del caballo Hispano-Árabe a las poblaciones de origen, cuando éstas se consideran 3.	219
Tabla 5.8. Proporción de genoma de cada una de las poblaciones de referencia y en cada una de las 30 muestras de la población HÁ. En negrita los valores que superan el 50 por 100.	220
Tabla 5.9. Proporción de genoma para cada población en cada clúster considerado.	221
Tabla 5.10. Proporción de genoma para cada una de las poblaciones ancestrales en una muestra de caballos Hispano-Árabe. Calculados en diferentes métodos.	223

ÍNDICE DE FIGURAS


Figura 1. Distribución del censo de la población Hispano-Árabe por Comunidades Autónomas.	7
Figura 2. Evolución del censo de la población Hispano-Árabe desde el año 2009 al 2015.	8
Figura 3. Evolución del censo de ganaderías activas en el Libro Genealógico desde el año 2009 al 2015.	8
Figura 4. Evolución de la matriz de parentesco desde el año 2009 al 2015 en la raza equina Hispano-Árabe.	11
Figura 5. Evolución del número de Controles de Rendimiento realizados desde el año 2009 al 2015 en la raza equina Hispano-Árabe.	12
Figura 6. Evolución del número de animales con información propia presentes en la Evaluación Genética desde el año 2009 al 2015.	12
Figura 7. Evolución del número de ganaderos presentes en el Programa de Mejora del caballo Hispano - Árabe desde el año 2009 al 2015.	13
Figura 8. Evolución del número de animales con valor genético presentes en la evaluación genética desde el año 2009 al 2015.	13
Figura 9. Esquema de selección del Caballo de Pura Raza Hispano-Árabe.	25
Figura 1.1.- Número de machos y hembras registrados en el Libro Genealógico del caballo Hispano-Árabe, por años (1950-2014).	37
Figura 1.2.- Pirámides de edades de machos y hembras nacidos entre 1981 y 2014 en el caballo Hispano - Árabe.	38
Figura 1.3.- Porcentaje promedio de antepasados conocidos por generación en el caballo Hispano - Árabe.	39
Figura 1.4.- Contribución genética acumulada de ancestros y fundadores en la población de referencia del caballo Hispano-Árabe.	42
Figura 1.5.- Número efectivo de fundadores y ancestros por año de nacimiento en el caballo Hispano-Árabe, mostrados en intervalos de 5 años.	42
Figura 1.6.- Contribución genética de los diferentes grupos genéticos (PRÁ = Pura Raza Árabe; PRE = Pura Raza Española; HÁ = Hispano-Árabe; RA = Registro Auxiliar) en el pool genético, mostrados en intervalos de 5 años.	43
Figura 1.7.- Evolución de la contribución genética de los fundadores más influyentes a) Hispano-Árabe y b) Pura Raza Español (PRE) y Pura Raza Árabe (PRÁ) en los últimos 30 años, en períodos de 5 años.	44
Figura 1.8.- Evolución del porcentaje medio de la consanguinidad e incremento medio por año de nacimiento en toda la población del caballo Hispano-Árabe (1988-2014).	44
Figura 1.9.- Porcentaje medio de la consanguinidad por ganaderías en la población de referencia del caballo Hispano-Árabe.	45
Figura 2.1.- Rendimiento del carácter “armonía” en el total de ganaderías estudiadas.	72

Figura 2.2.- Rendimiento del carácter “paso” en el total de ganaderías estudiadas.	78
Figura 2.3.- Rendimiento del carácter “trote” en el total de ganaderías estudiadas.	84
Tabla 2.21.- Estadísticos descriptivos para el carácter trote en función del sexo en la raza equina Hispano – Árabe.	84
Figura 2.4.- Rendimiento del carácter “galope” en el total de ganaderías estudiadas.	90
Figura 2.5.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter de conformación “armonía” en función del Grupo de Manejo mediante el test de Duncan..	95
Figura 2.6.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter de conformación “armonía” en función del sexo mediante el test de Duncan.....	96
Figura 2.7.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter de conformación “armonía” en función del año de calificación mediante el test de Duncan.	96
Figura 2.8.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter de conformación “armonía” en función de la época de calificación mediante el test de Duncan.	96
Figura 2.9.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter de conformación “armonía” en función del tipo de prueba mediante el test de Duncan.	97
Figura 2.10.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter de conformación “armonía” en función de la edad de calificación mediante el test de Duncan.	97
Figura 2.11.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter de conformación “armonía” en función del nivel de sangre mediante el test de Duncan.....	98
Figura 2.12.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter de conformación “armonía” en función del juez mediante el test de Duncan.....	99
Figura 2.13.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “paso” en función del Grupo de Manejo mediante el test de Duncan.....	100
Figura 2.14.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “paso” en función del año de calificación mediante el test de Duncan.	100
Figura 2.15.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “paso” en función del tipo de prueba mediante el test de Duncan.	101
Figura 2.16.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “paso” en función del nivel de sangre mediante el test de Duncan.....	102
Figura 2.17.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “paso” en función del juez mediante el test de Duncan.....	103
Figura 2.18.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “trote” en función del Grupo de Manejo mediante el test de Duncan.....	104
Figura 2.19.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “trote” en función del año de calificación mediante el test de Duncan.	104

Figura 2.20.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “trote” en función del tipo de prueba mediante el test de Duncan.	105
Figura 2.21.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “trote” en función de la edad de calificación mediante el test de Duncan.....	105
Figura 2.22.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “trote” en función del nivel de sangre mediante el test de Duncan.....	106
Figura 2.23.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “trote” en función del juez mediante el test de Duncan.....	107
Figura 2.24.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “galope” en función del Grupo de Manejo mediante el test de Duncan.....	108
Figura 2.25.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “galope” en función del sexo mediante el test de Duncan.....	108
Figura 2.26.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “galope” en función del año de calificación mediante el test de Duncan.	109
Figura 2.27.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “galope” en función de la época de calificación mediante el test de Duncan.....	109
Figura 2.28.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “galope” en función del tipo de prueba mediante el test de Duncan.	110
Figura 2.29.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “galope” en función de la edad de calificación mediante el test de Duncan.....	110
Figura 2.30.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “galope” en función del nivel de sangre mediante el test de Duncan.....	111
Figura 2.31.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “galope” en función del juez mediante el test de Duncan.....	112
Figure 3.1 Frequency distribution’s scores in Hispano - Arabe horse.	154
Figure 3.2 Correlation between estimated breeding values in the two methodologies, REML vs GIBBS.	154
Figura 4.1. Tendencia genética para el carácter armonía.....	173
Figura 4.2. Tendencia genética para el carácter paso.	173
Figura 4.3. Tendencia genética para el carácter trote.....	174
Figura 4.4. Tendencia genética para el carácter galope.	174
Figura 4.5. Tendencia fenotípica para el carácter armonía.	175
Figura 4.6. Tendencia fenotípica para el carácter paso.	176
Figura 4.7. Tendencia fenotípica para el carácter trote.	176
Figura 4.8. Tendencia fenotípica para el carácter galope.....	177

Figura 4.9. Evolución de la precisión media por año de nacimiento para el carácter de conformación y de movimientos.	178
Figura 4.10. Evolución de la información generada en los últimos seis años en el caballo Hispano-Árabe.....	179
Figura 4.11. Evolución del número de animales presentes en la matriz de parentesco generada en los últimos seis años en el caballo Hispano-Árabe.....	180
Figura 4.12. Evolución del número de registros productivos generados en los últimos seis años en el caballo Hispano-Árabe.	180
Figura 4.13. Evolución del número de animales con información propia generados en los últimos seis años en el caballo Hispano-Árabe.	181
Figura 4.14. Evolución del número de registros en los diferentes tipos de prueba generados en los últimos cinco años en el caballo Hispano-Árabe.	182
Figura 4.15. Evolución del número de registros en la Prueba de Selección de Caballos Jóvenes generados en los últimos cinco años en el caballo Hispano-Árabe.	183
Figura 4.16. Evolución del número de animales con valor genético generados en los últimos cinco años en el caballo Hispano-Árabe.....	183
Figura 4.17. Evolución del número de ganaderos presentes en el Programa de Mejora del caballo Hispano - Árabe desde el año 2009 al 2014.	184
Figura 4.18. Catálogos de Reproductores Mejorantes y Jóvenes Reproductores Recomendados presentados anualmente.	185
Figura 5.1. Árbol de distancias genéticas entre las 4 poblaciones según el modelo de distancia Da de Nei (1983) y el algoritmo Neighbor-Joining.....	214
Figura 5.2. Representación gráfica de los resultados del Análisis Factorial de Correspondencia de 4 poblaciones equinas.....	215
Figura 5.3. Representación gráfica de los resultados del Análisis Factorial de Correspondencia en un muestreo de 48 individuos HÁ.....	215
Figura 5.4. Representación gráfica de la diferenciación genética entre pares de poblaciones. Matriz de gradientes representada por las distancias Da Nei (debajo de la diagonal), el índice de diferenciación genética entre individuos _T dentro de población (diagonal) y diferenciación entre pares de poblaciones (encima de la diagonal).	217
Anexo 1. Árbol genealógico de individuos pertenecientes a la raza Hispano-Árabe.	224
Figura 5.5. Gráfico de la distribución del LN al variar el número de clúster.....	225
Figura 5.6. a) Representación gráfica de la estructura genética de las cuatro razas analizadas. b) K4, coeficientes de asignación HÁ ordenados. Los gráficos son obtenidos usando el software Distruct. Los resultados del structure son dados para el K2 a K4. Abreviaciones de las razas: HÁ, Hispano-Árabe; PRÁ, Pura Raza Árabe; PRE, Pura Raza Español; PSI, Pura Sangre Inglés.	227
Figura 5.7. Correlación de Pearson entre los valores genéticos obtenidos cuando se usa el porcentaje de sangre y los coeficientes de asignación.	228

Figura 5.9. Regresión entre los valores genéticos para el carácter paso respecto al nivel de asignación de sangre árabe.....	229
Figura 5.10. Regresión entre los valores genéticos para el carácter trote respecto al nivel de asignación de sangre árabe.....	230
Figura 5.11. Regresión entre los valores genéticos para el carácter galope respecto al nivel de asignación de sangre árabe.....	230



INTRODUCCIÓN, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

1. INTRODUCCIÓN

El caballo Hispano-Árabe (en adelante HÁ) es una raza autóctona española incluida en el Catálogo Oficial de Razas de Ganado de España dentro de la categoría de razas en peligro de extinción (Orden APA/2129/2008, de 26 de diciembre, BOE 23, de 27 de enero de 2009). Raza originada en Andalucía probablemente desde tiempos de la invasión musulmana en la península Ibérica, actualmente tiene a esta región española como principal área de distribución geográfica. Esta raza se formó históricamente por la fijación del cruce entre las dos razas que integran su nombre, con una vocación funcional muy marcada, definido como un caballo de silla con buenas aptitudes deportivas en distintas disciplinas, extrayendo del caballo Árabe su equilibrio, resistencia y cualidades atléticas, y del español su sobriedad, inteligencia y capacidad de aprendizaje, siempre con la intención de conseguir un caballo versátil (doma clásica y vaquera, salto, etc.). (Delgado y cols., 2005).

Desde el año 1883 cuándo se crea la Unión Española de Ganaderos de Pura raza Hispano-Árabe (en adelante UEGHá), es la encargada de la gestión de la raza. Tras la aprobación del esquema de selección, UEGHá es la encargada de la llevanza del Libro Genealógico (L.G.) cumpliendo con la normativa vigente sobre las normas zootécnicas de la raza (Orden APA/3277/2002, de 13 de diciembre, BOE 308, de 25 de Diciembre de 2002) y sobre los requisitos básicos para los esquemas de selección y los controles de rendimientos para la evaluación genética de los équidos de pura raza (Orden APA/1018/2003, de 23 de abril, BOE 103, de 30 de abril de 2003). Posteriormente adaptada al nuevo Real Decreto (Orden APA/2129/2008, de 26 de diciembre, BOE 23, de 27 de enero de 2009) con la que se viene trabajando para cumplir con los objetivos propuestos, la mejora de los caracteres ligados al comportamiento (armonía) y la movilidad (paso, trote y galope).

Los planes de mejora en esta raza eran muy complejos, fundamentalmente por la escasez de información funcional disponible. El primer problema a solventar fue la inexistencia de variables cuantitativas objetivas, que nos permitieran evaluar la productividad de los animales en las diferentes pruebas. Saastamoinen y cols. (1998),

afirmaron que es posible realizar una selección del rendimiento funcional equino en función de sus resultados en pruebas de movimientos, ya que existe una correlación positiva entre ambos tipos de variables. Tradicionalmente estos animales se han venido seleccionando por características fenotípicas y en los últimos siete años, investigadores del grupo de investigación AGR218 de la Universidad de Córdoba han venido almacenando toda la información generada de las valoraciones oficiales realizadas por la Unión, y también la generada en los diferentes concursos morfológicos. Los sementales para entrar a formar parte de la sección principal de Reproductores del Libro Genealógico del HÁ deben ser evaluados por jueces especializados de la raza y cumplir la edad mínima para realizar estas valoraciones, siendo está a partir de los 3 años de edad. Por otro lado, cada año se celebran diferentes concursos morfológicos en los cuales el caballo HÁ viene participando de forma continua, dichos concursos están divididos en diferentes secciones (de acuerdo a la edad y el sexo), encontrando animales entre 1 y más de 8 años. Estos dos tipos de pruebas (valoraciones y concursos morfológicos) pueden ser realizadas en el campo o en estaciones de pruebas.

Debido al volumen de información con la que se partía en los inicios del programa de mejora fue necesario utilizar estos dos tipos de información fenotípica (valoraciones y concursos). La escasa información funcional disponible estaba motivada por distintos factores, entre ellos al ser una raza en peligro de extinción y a las condiciones económicas actuales, existiendo poco compromiso o interés por parte de los ganaderos a participar en las diferentes pruebas que se realizan cada año y por lo tanto estas causas repercuten en la mejora genética de la raza.

La información fenotípica se basa en la puntuación de distintos caracteres ligados a la eficiencia de los animales en las distintas pruebas en las que participan, entre ellos la conformación, los aires, temperamento y apariencia general. Las habilidades naturales de los caballos deben ser lo más objetivamente juzgados, para ello debemos minimizar al máximo las condiciones ambientales sobre el rendimiento individual. Además es imprescindible disponer de una adecuada estructura de los datos, con una conexión genética de las ganaderías y una adecuada distribución de los mismos, entre los niveles

de los distintos efectos fijos, para evitar en lo posible la presencia de celdas vacías o un exceso de desequilibrio (Camacho, 2002).

En el año 2009, se establece una serie de reuniones y contactos que tenía como objetivos prioritarios el establecimiento de los pasos a seguir para poner en marcha el esquema de selección específico para los caracteres conformacionales y funcionales de la raza. Entre los temas analizados estuvieron la optimización de la recolección de la información, establecer las bases para la evaluación genética de los reproductores de la raza Hispano-Árabe, determinar diferentes técnicas estadísticas para el cálculo de parámetros genéticos, y todo aquello que puede afectar directamente al progreso genético de la raza.

2. ANTECEDENTES

La mejora genética mediante programas concretos de selección y cruzamiento constituye uno de los pilares básicos de la producción animal actual, y con ella se han incrementado de forma espectacular los niveles productivos de la mayor parte de las especies de interés pecuario y se han adaptado los animales a métodos de explotación en muchas ocasiones tremendamente sofisticados. El importantísimo cambio que han sufrido los animales domésticos, ha requerido una adecuada respuesta por parte de todas las ciencias que intervienen en la producción animal. De esta forma, los sistemas de manejo han debido adaptarse al genotipo de las nuevas estirpes; la nutrición, la patología, la reproducción, la agricultura etc.

La evolución de la mejora genética animal a lo largo del siglo XX, ha estado condicionada por el desarrollo conceptual de la Genética, especialmente la cuantitativa, pero también por aspectos en ocasiones limitantes, especialmente en las posibilidades de realizar controles tanto de rendimientos como genealógicos. El grado de precisión de estos controles y el desarrollo de la informática en las últimas décadas, han contribuido en la capacidad de cálculo necesaria para aplicar la metodología estadística más adecuada a cada caso. La mejora genética animal se ha enriquecido conceptualmente de forma sensible, lo que previsiblemente determinará resultados muy positivos en un plazo razonable.

La mejora genética en el sector equino presenta una elevada complejidad, debido principalmente a las diferentes aptitudes de estos animales, tales como producción de carne, aptitud para la silla, rendimiento en carreras, saltos, etc. Ello implica diversos objetivos de selección, en muchas ocasiones difícilmente evaluables con objetividad (San Primitivo Tirados, 2001). Uno de los temas en discusión actualmente, es la elección de los caracteres que deben medirse y el procedimiento empleado para hacerlo. Algunos utilizan la posición en las carreras, otros el tiempo utilizado en recorrer una distancia determinada corregido por el handicap, etc. Las dificultades aumentan al no existir homogeneidad en los caracteres, aunque numerosas investigaciones se están desarrollando en los últimos tiempos, con el fin de armonizar las diferentes mediciones (Ricard, 1998).

Hay factores que no podemos controlar y que condicionan las evaluaciones genéticas, como es la subjetividad de los jueces, por lo que observamos que se han realizado estudios de la gran influencia que estos tienen en la predicción de los valores genéticos de los animales, un ejemplo de ello es lo encontrado por Gómez y cols. (2006), que han estudiado el efecto de la capa, la edad, el sexo, y la ganadería del animal, el concurso, el año y la Comunidad Autónoma donde se ha celebrado la prueba, sobre las puntuaciones emitidas por cada juez (interacción del juez con los diferentes factores), así como el efecto del número de animales participantes, animales juzgados por cada juez y el orden de participación. Todos los factores estudiados han resultado ser estadísticamente significativos sobre las puntuaciones emitidas por los jueces. No obstante, existen numerosos argumentos en contra del sistema de valoración seguido en estos concursos frente a otras modalidades más modernas (Fernández y cols., 1998). Entre los principales inconvenientes que se le achacan, destaca la poca precisión y la subjetividad de las puntuaciones emitidas por los jueces. Por este motivo la importancia de analizar los efectos fijos y determinar el modelo animal adecuado para la evaluación genética.

Las evaluaciones genéticas en equinos son rutinarias en varias razas españolas, como son; en el Pura Raza Español (ANCCE, 2015), Caballo Anglo Árabe (AECCAá, 2014), Caballo de Deporte Español (ANCADES, 2014) o el Caballos Trotador Español (ASTROT,

2013). Valoraciones genéticas obtenidas mediante el empleo de la metodología BLUP modelo animal y utilizando para ello los archivos históricos de datos deportivos y genealógicos de cada una de las razas antes citadas, y que han dado lugar a la publicación de Catálogos de Reproductores.

Estos estudios similares nos impulsan a seguir trabajando en busca del progreso genético de la raza Hispano-Árabe, y aprovechar su versatilidad adquirida de sus razas fundadoras y que lo capacita funcionalmente para participar en diferentes disciplinas deportivas.

2.1.- Distribución geográfica, censo y usos.

El Caballo Hispano-Árabe (HÁ) es una raza que ha ido adquiriendo una importancia relevante en Andalucía y a nivel nacional, gracias a las actividades de promoción desarrolladas por la Unión de Criadores y Propietarios de Caballos Hispano-Árabes, al soporte económico del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente y al asesoramiento científico-técnico del grupo de investigación PAIDI-AGR218 de la Universidad de Córdoba.

La zona principal de asentamiento de la raza se corresponde fundamentalmente con la Comunidad Autónoma de Andalucía; sin embargo, el área de dispersión de la misma se considera todo el territorio peninsular español. La Comunidad Andaluza es la que mayor censo presenta de pura raza Hispano-árabe con casi el 57%. Le sigue la Comunidad de Castilla y León con un 11 % y la comunidad de Madrid con el 9%. Con casi el 5% cada una se encuentra la comunidad de Cataluña y Extremadura, mientras el censo restante está muy diseminado por todo el resto de España (**Figura 1**).

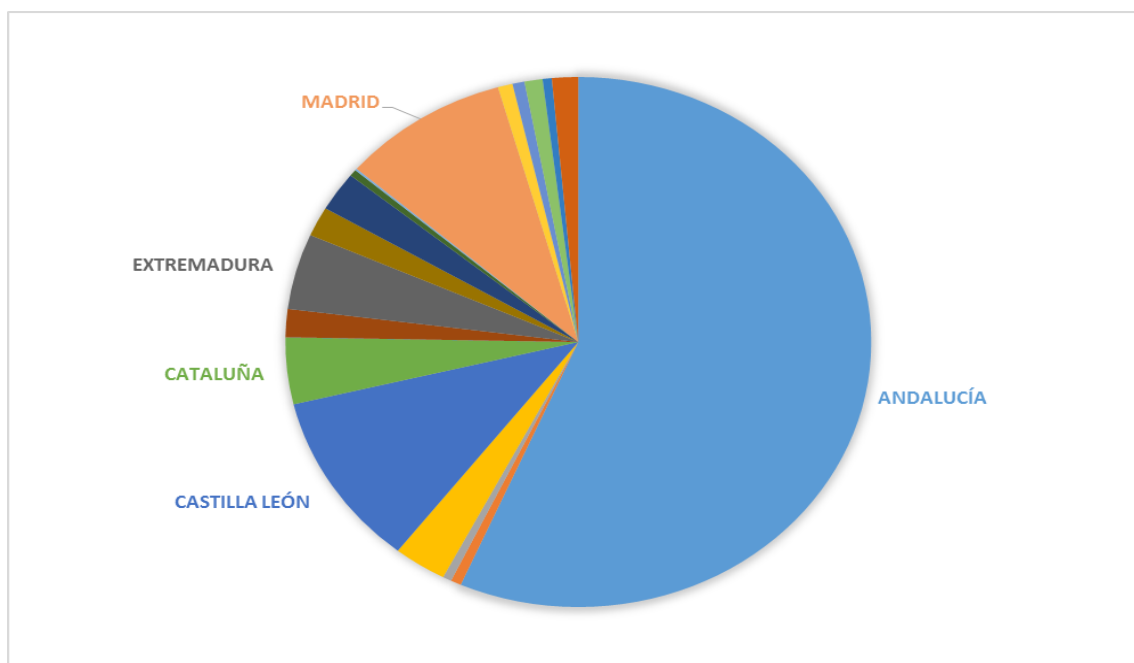


Figura 1. Distribución del censo de la población Hispano-Árabe por Comunidades Autónomas.

Por comunidades autónomas, donde más altas se han producido ha sido en Andalucía, debido principalmente a su tradición ecuestre que lleva implantada durante siglos en esta región. Además de un incremento en el número de explotaciones hay que indicar que aún mayor ha sido el incremento en número de animales, tendencia que año tras año se mantiene debido al trabajo ejercido por la UEGHá y al compromiso que han tomado los ganaderos con esta raza. Así se ha pasado de un censo de animales inscritos en el Libro Genealógico en 2009 de 6.647 animales a 9.289 en 2015 (**Figura 2**). Del censal total registrado en el año 2015 (9.289 equinos) existen en Andalucía 2.089 hembras con potencial reproductor y 247 machos con idéntica capacidad.

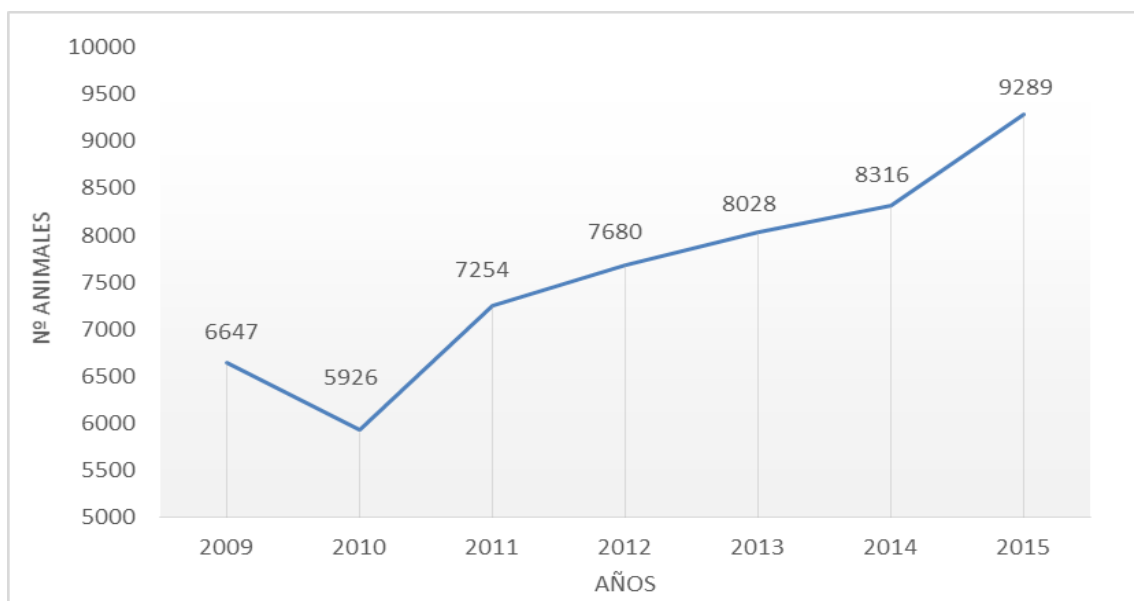


Figura 2. Evolución del censo de la población Hispano-Árabe desde el año 2009 al 2015.

La evolución del censo de ganaderías activas en el L.G. se muestra en la **Figura 3**. Como se ha observado anteriormente la raza HÁ está distribuida por todo el territorio nacional, sin embargo la mayoría del trabajo de la misma se concentra en la comunidad Autónoma de Andalucía, si bien la representación en el censo de explotaciones activas en esta comunidad ha pasado de 904 en el año 2009 a 1.585 en el presente año. De este modo queda reafirmada la vocación y gusto de la población que la habita Andalucía por el sector ecuestre, siendo hoy en día un importante motor en la economía de esta Comunidad Autónoma.

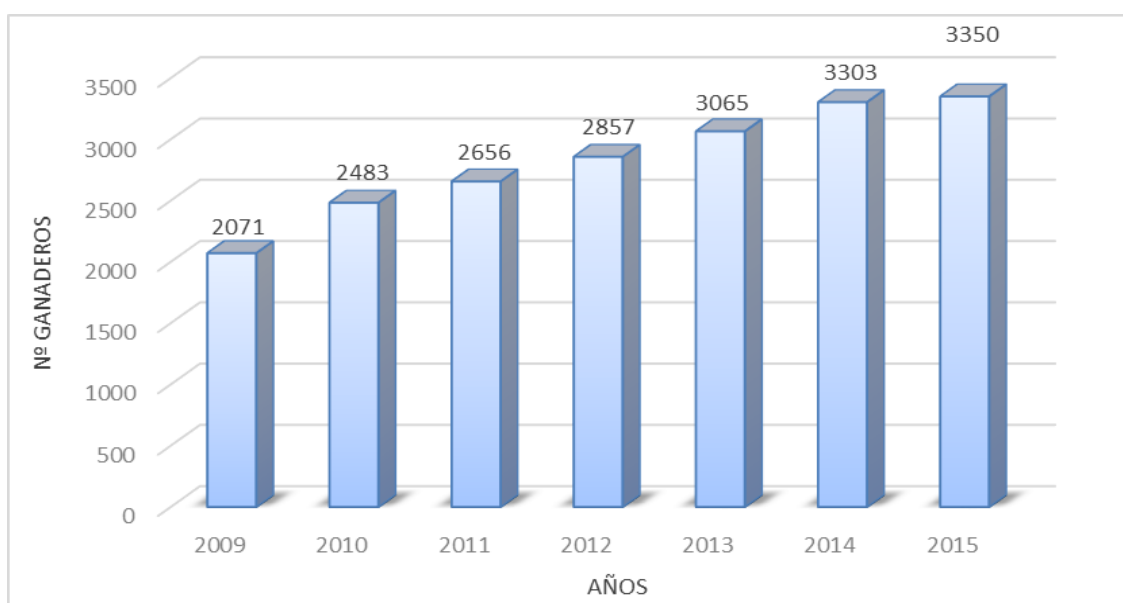


Figura 3. Evolución del censo de ganaderías activas en el Libro Genealógico desde el año 2009 al 2015.

Estos animales se encuentran distribuidos a nivel nacional en explotaciones cuya principal clasificación zootécnica es el uso particular de los équidos. Su uso productivo principal es el deporte, y en menor grado se usan para el ocio y trabajo. Se trata de un excelente caballo de silla, muy versátil y capaz de satisfacer a toda clase de jinetes en cualquier disciplina deportiva y/o de ocio. Esa especial predisposición para el deporte, lo hace destacar en modalidades como Doma Vaquera, Acoso y Derribo, Concurso Completo de Equitación, Raid, Doma Clásica y Enganche. Asimismo, es una raza con un temperamento muy adecuado para las marchas ecuestres y los deportes en grupo (ARCA, 2015).

De forma general, el sistema de explotación predominante en los ganaderos de Hispano-árabe es el Extensivo y Semi-extensivo, ya sea en dedicación exclusiva a la cría de esta raza, o en simbiosis con explotaciones ganaderas (principalmente vacuno) o agrícolas. El Hispano-Árabe se encuentra asociado a todo tipo de ecosistemas, destacando la Vega del Guadalquivir, Dehesas, Marismas y Campiña del Sur y Norte de España. Juega un papel fundamental en la conservación productiva y medioambiental de dichos ecosistemas por servir de herramienta de trabajo en las labores de manejo del ganado, principalmente vacuno, y de fijación de población por ser su cría una fuente de ingresos complementaria en las explotaciones agro-ganaderas (ARCA, 2015).

Su papel sociocultural viene dado por su uso en tareas de manejo del ganado, caza de liebres, deporte y ocio. Así mismo, el Hispano-Árabe cumple un papel fundamental en el mantenimiento de las Tradiciones y el Patrimonio Cultural.

En el análisis que de la ganadería hace el Libro Blanco de la Agricultura y el Desarrollo Rural que publicó en el año 2003 el Ministerio de Agricultura Español, al establecer las recomendaciones estratégicas para el subsector equino, considera la primera el aprovechamiento del potencial de las razas autóctonas españolas y de su adaptación al medio natural, para lo cual hay que incidir en la mejora genética de nuestra cabaña.

2.2.- Evolución del control de rendimiento

Recomendaciones estratégicas para el subsector equino vienen dadas por el Ministerio de Agricultura y Ganadería Español, en el cual se consideran en primer lugar el aprovechamiento del potencial de las razas autóctonas españolas y de su adaptación en el medio rural, para lo cual hay que incidir en la mejora genética de nuestra raza. En esta línea de trabajo, es imprescindible que las Asociaciones de Ganado Selecto pongan en marcha y realicen el posterior seguimiento del correcto funcionamiento del programa de Mejora y Conservación.

Respecto a estas recomendaciones, la Unión Española de Ganaderos de Pura Raza Hispano-Árabe viene trabajando en cuanto a cantidad y calidad de información fenotípica y genealógica. Cada año, se ha ido recopilando toda la información genealógica y fenotípica generada por los ejemplares en las distintas pruebas de Control de Rendimientos, teniendo así información de los caracteres ligados a la Conformación (armonía) y los caracteres ligados a la Funcionalidad y Aires Básicos (paso, trote y galope).

Por lo tanto, una matriz de parentesco bien estructurada y la inclusión permanente de información fenotípica garantizan la precisión de nuestros resultados en lo que a la estimación de valores de cría se refiere. A continuación, se presenta la evolución de la información disponible.

Así, en la **Figura 4** puede observarse la evolución positiva que ha tenido el pedigrí desde el inicio del Programa de Mejora, dejando claro la incorporación permanente de nuevos ejemplares al Programa de Mejora. La precisión de nuestros resultados depende principalmente de la calidad de la genealogía, por ello la importancia de incluir animales testados con ADN.

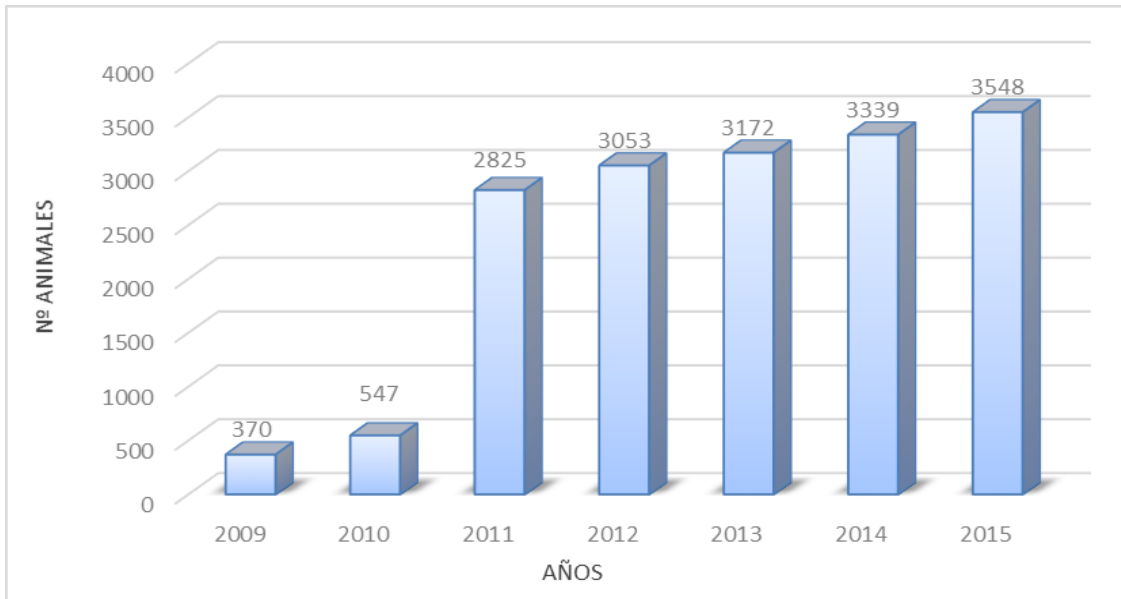


Figura 4. Evolución de la matriz de parentesco desde el año 2009 al 2015 en la raza equina Hispano-Árabe.

Al igual que el pedigrí, en la **Figura 5** se aprecia un incremento notable de la información fenotípica a través de los Controles de Rendimientos establecidos en el Programa de Mejora: Pruebas de Valoración de Reproductores, Concursos Morfo-Funcionales y Pruebas de Selección de Caballos Jóvenes de Doma Vaquera. Se ha pasado de 502 controles en el año 2009 a 4.100 controles en el año 2015. Este incremento exponencial que hemos experimentado en estos 7 años de funcionamiento, nos mejora la fiabilidad de los valores genéticos obtenidos para cada uno de los Reproductores de manera notoria.

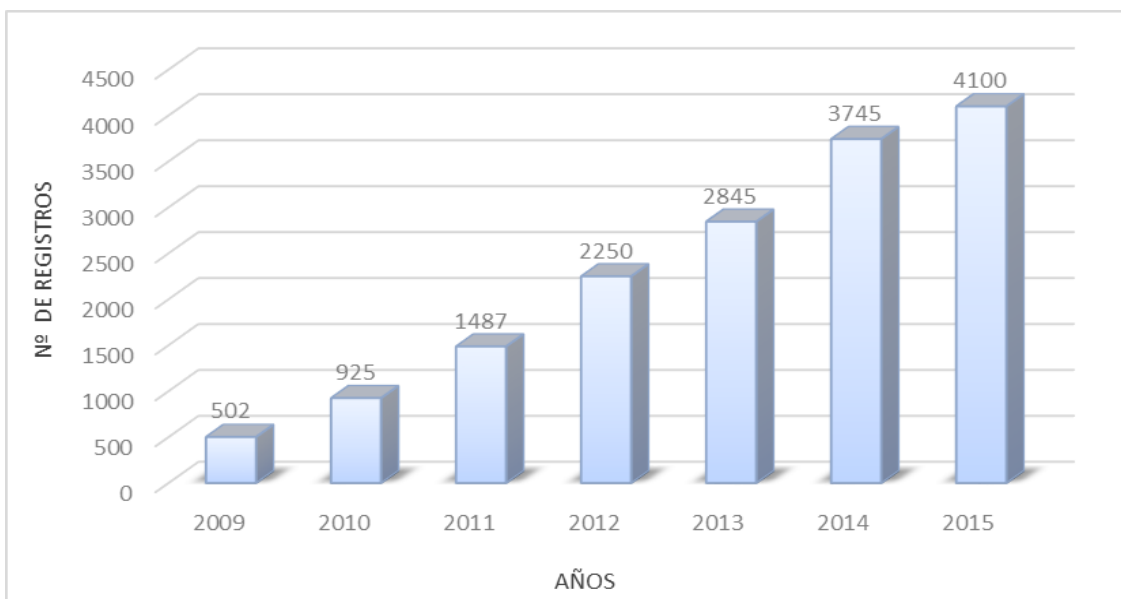


Figura 5. Evolución del número de Controles de Rendimiento realizados desde el año 2009 al 2015 en la raza equina Hispano-Árabe.

En la **Figura 6** se observa como el número de animales con información propia también ha experimentado un crecimiento exponencial, un número de animales con información propia presentes en las evaluaciones genéticas. Esta situación, permitirá sin dudas a través de una base genética más amplia y usando tecnología avanzada, un mayor progreso genético en los caracteres de mayor importancia en el Programa de Mejora de la Raza Hispano-árabe.

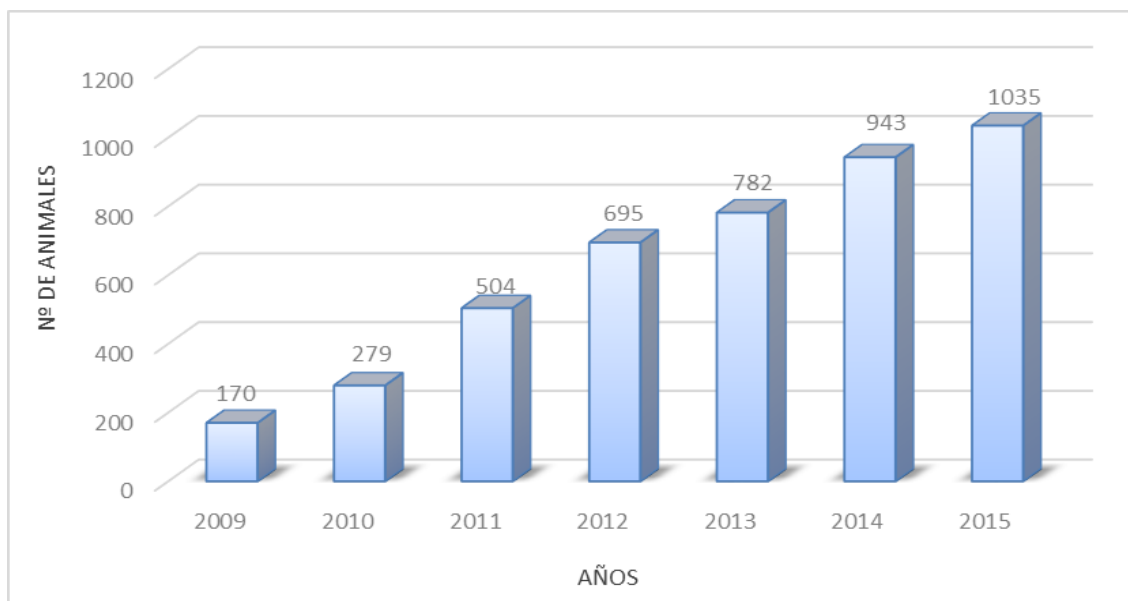


Figura 6. Evolución del número de animales con información propia presentes en la Evaluación Genética desde el año 2009 al 2015.

De la misma manera que en los puntos anteriores, la participación de los ganaderos en el Programa de Mejora ha crecido significativamente en los últimos años (**Figura 7**), manifestado su clara confianza en el trabajo que se viene realizando y por lo tanto, está motivando a los ganaderos a participar activamente en el Programa de Mejora, a pesar del gran esfuerzo económico que ello conlleva.

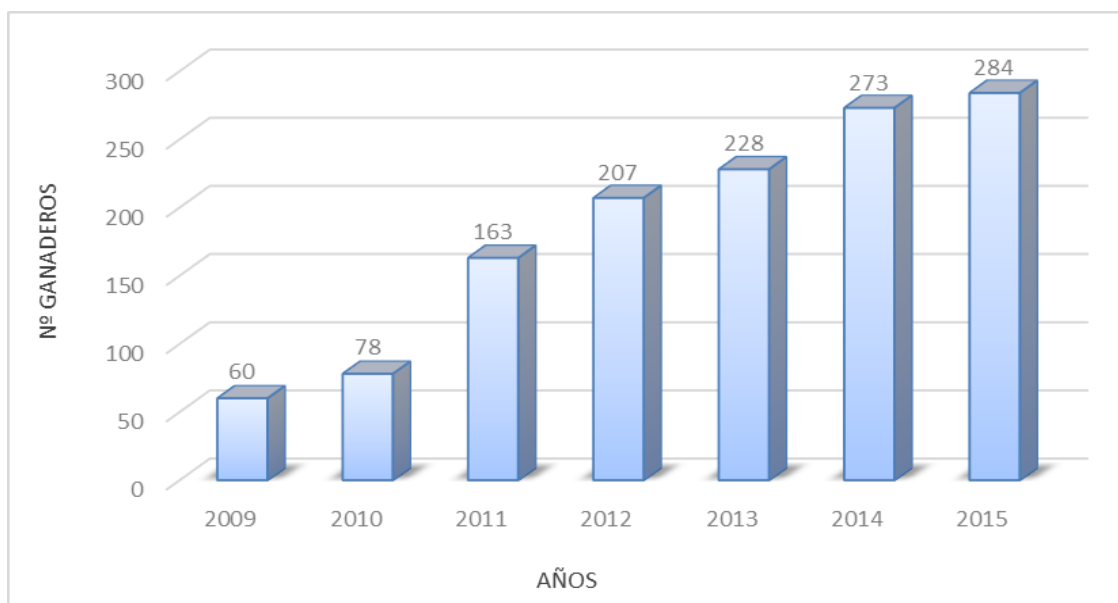


Figura 7. Evolución del número de ganaderos presentes en el Programa de Mejora del caballo Hispano - Árabe desde el año 2009 al 2015.

Con la inclusión permanente de información en la evaluación genética, la información sobre cada individuo es creciente, así como la fiabilidad de la evaluación genética (**Figura 8**).

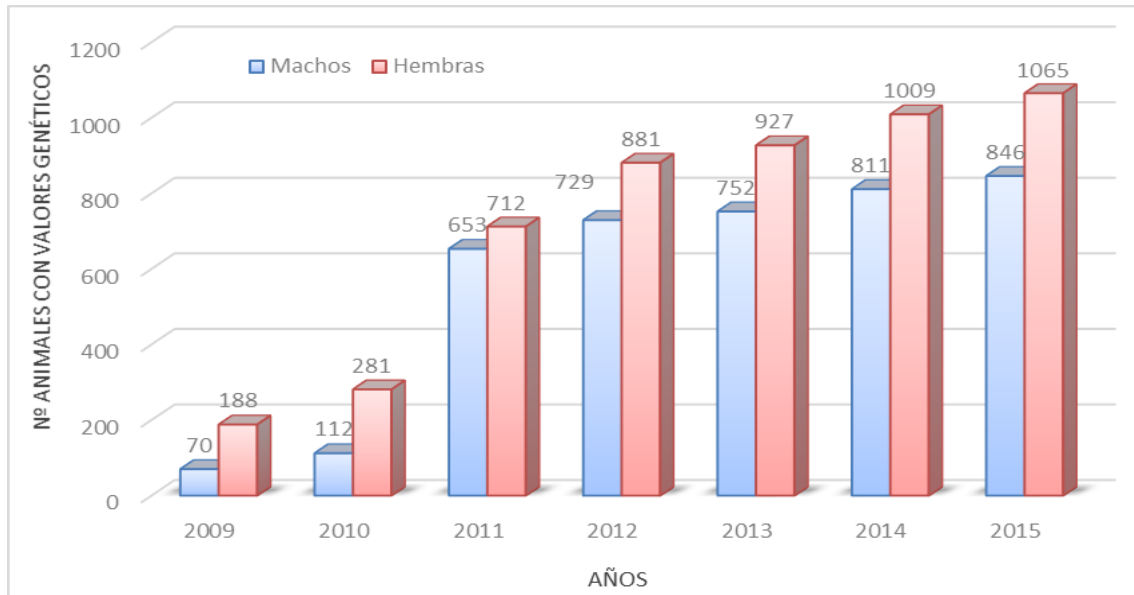


Figura 8. Evolución del número de animales con valor genético presentes en la evaluación genética desde el año 2009 al 2015.

Todo este incremento de la información en momentos económicos tan duros, junto con la aplicación adecuada de los métodos estadísticos ofrecen más garantías en los resultados obtenidos, produciéndose una verdadera “revolución genética” en el caballo

Hispano - Árabe. Como prueba de ello, es necesario mencionar la obtención del galardón de Campeón de Campeones (entre los Campeones de las Razas PRE, PRÁ, AÁ e HÁ) en la Feria del Caballo de Jerez de la Frontera, de tres ejemplares Hispano-Árabes en los últimos cinco años, lo que supone un gran avance en la mejora y difusión de la raza.

3. GESTIÓN DEL LIBRO GENEALÓGICO

De acuerdo a la Resolución de la Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios, por la que aprueba la reglamentación específica del Libro genealógico de la raza Hispano-Árabe. (18/06/2012), se define como caballo de Pura Raza Hispano-Árabe aquel que está inscrito al nacimiento en el Libro Genealógico de esta raza. En cuanto a la gestión propiamente dicha del Libro Genealógico, función principal de la UEGHá, éste se integra en un programa informático, con diversos registros.

El Libro Genealógico está integrado por una Sección Principal formada por el Registro de Nacimientos y el Registro Definitivo, así como por una Sección Aneja con el Registro Auxiliar.

3.1.- Registro de Nacimiento

Apareamientos Permitidos: Los únicos progenitores permitidos serán ejemplares inscritos en el Registro Definitivo del L.G. HÁ; ejemplares aptos como reproductores del Pura Raza Español (PRE); y ejemplares del Pura Raza Árabe (PRÁ) previamente autorizados por la Comisión Rectora de la Raza HÁ. Los apareamientos permitidos serán: un progenitor de raza HÁ, con otro de la misma raza, o con un PRE, o un PRÁ. Si alguno de los progenitores es del Registro Auxiliar de la Raza HÁ, el otro progenitor deberá ser del Registro Definitivo de la raza HÁ. También se permitirán los apareamientos entre PRE y PRÁ (**Tabla 1**).

Tabla 1. Apareamientos permitidos en el caballo Hispano-Árabe.

Cruzamientos	Há	PRE	PRÁ	R.AUXILIAR
Há	Há (A, B)*	Há (B)	Há (B)	Há (B)
PRE	Há (B)	-	Há (B)	-
PRÁ	Há (B)	Há (B)	-	-
R.AUXILIAR	Há (B)	-	-	-

* Según las condiciones descritas en la normativa

División del Registro de Nacimientos: Todos los ejemplares HÁ se inscribirán en el Registro de Nacimientos, que constará de dos secciones, en función del tipo de apareamiento, y del porcentaje que resulte de la media aritmética de sangre árabe de sus progenitores. De tal manera se describen:

- **Sección A:** Se registrarán en esta sección los ejemplares que reúnan los siguientes requisitos:
 - Que tengan un porcentaje de sangre árabe entre el 25% y el 75%, ambos inclusive.
 - Que ambos progenitores estén inscritos en el Registro Definitivo del L.G. HÁ.
 - Que tengan abuelos inscritos en el Registro Definitivo de los Libros Genealógicos de las razas permitidas.
- **Sección B:** Se registrarán en esta sección los ejemplares que no reúnan alguno de los requisitos para registrarse en la sección A. También se registrarán en esta sección los ejemplares producidos por un reproductor del Registro Definitivo del L.G. HÁ y un reproductor del Registro Auxiliar del L.G. HÁ, siendo inscritos con la mitad del porcentaje de sangre árabe del progenitor perteneciente al Registro Definitivo.

Para ambas secciones, el porcentaje de sangre árabe figurará a continuación del nombre del ejemplar y vendrá determinado por la media aritmética de los porcentajes de sus ascendientes.

3.2.- Registro Definitivo

- **Sección A:** Para aquellos ejemplares reproductores procedentes de la sección A del Registro de Nacimientos, que hayan cumplido tres años de edad, se ajusten al prototipo racial especificado en el artículo 4 de la presente reglamentación y superen

la calificación reglamentaria como reproductores en la valoración específica de la raza, conforme a lo dispuesto en el artículo 5 de la presente normativa, obteniendo la categoría de "Apto Reprodutor".

- **Sección B:** Para aquellos ejemplares reproductores procedentes de la sección B del Registro de Nacimientos, que hayan cumplido tres años de edad, se ajusten al prototipo racial especificado en el artículo 4 de la presente reglamentación y superen la calificación reglamentaria como reproductores en la valoración específica de la raza, conforme a lo dispuesto en el procedimiento de calificación para la inscripción de los reproductores, obteniendo la categoría de "Apto Reprodutor".

Para ambas secciones, aquellos ejemplares que no superen esta valoración permanecerán inscritos en la sección correspondiente del Registro de Nacimientos. Así mismo, se podrán incluir como reproductores aquellos ejemplares que en su momento fueron declarados no aptos, pero que, por su palmarés deportivo, hayan obtenido unos resultados funcionales destacados en alguna disciplina deportiva oficial, siendo evaluado para su aprobación por la Comisión Rectora de la Raza establecida a tal efecto por la entidad gestora del L.G. del Pura Raza Hispano-árabe.

Dentro de este Registro y para ambas secciones del Registro Definitivo existirán los siguientes Registros de Reproductores:

- **Registro de Jóvenes Reproductores Recomendados:** para aquellos ejemplares del Registro Definitivo con una edad comprendida entre los 4 y 6 años, que mediante la valoración de los resultados generados en los controles de rendimientos establecidos en el Programa de Mejora, junto con los datos genealógicos, obtengan un índice genético superior al dintel establecido para el carácter o aptitud de que se trate para esta raza.
- **Registro de Reproductores Calificados:** para aquellos ejemplares del Registro Definitivo que mediante la valoración de los resultados generados en los controles de rendimientos establecidos en el Programa de Mejora, obtengan un índice genético superior al dintel establecido para el carácter o aptitud de que se trate para esta raza, y que, a partir de los 7 años, superen la valoración específica de la raza, conforme a

los requisitos morfológicos, funcionales, reproductivos y sanitarios establecidos en el Programa de Mejora.

- **Registro de Reproductores Mejorantes:** para aquellos ejemplares del Registro Definitivo con un número mínimo de hijos valorados, un índice genético superior al dintel establecido para el carácter o aptitud de que se trate para esta raza y una fiabilidad mínima fijada en el Programa de Mejora.
- **Registro de Reproductores de Élite:** para aquellos ejemplares del Registro Definitivo con 7 o más años de edad, que hayan obtenido la categoría de Reproductor Mejorante para alguno de los criterios establecidos en el presente Programa de Mejora y que además hayan destacado él y sus descendientes por méritos deportivos y/o pruebas oficiales establecidas por la Asociación de criadores.

3.3.- Registro Auxiliar

Para aquellas yeguas de las que desconociéndose totalmente su genealogía demuestren unas notables cualidades morfológicas y funcionales mediante la superación de una prueba de valoración.

En el caso de machos, además de lo anterior deberán demostrar, a través de palmarés deportivo, unos resultados funcionales destacados en alguna disciplina deportiva oficial, siendo evaluado documentalmente para su aprobación por la Comisión Rectora de la Raza establecida a tal efecto por la Asociación de criadores.

Los descendientes de animales inscritos en este registro, podrán acceder a la sección B del Registro de Nacimientos del L.G. HÁ siempre que procedan del apareamiento con reproductores inscritos en el Registro Definitivo de la raza HÁ. Todos estos productos serán inscritos con un porcentaje de sangre árabe equivalente a la mitad del porcentaje del progenitor HÁ.

3.4.- Valoración para la inscripción en el Registro Definitivo

La Asociación de criadores, como entidad gestora del Libro Genealógico de la raza, será la responsable de establecer el procedimiento de calificación para la inscripción de los reproductores de Pura Raza Hispano-árabe en el Registro Definitivo, así como de

determinar los órganos actuantes y las actuaciones y requerimientos a aplicar en este procedimiento, siempre de acuerdo con la normativa vigente.

La asociación de criadores dará publicidad a los procedimientos y establecerá los protocolos adecuados para que esta actuación, y las sucesivas de calificación, permitan avanzar en la valoración genética de los animales.

3.5.- Prototipo racial del caballo de Pura Raza Hispano-Árabe

Características generales. - Se trata de ejemplares ortoides, eumétricos y mesomorfos, de silueta esbelta, conjunto armónico y movimientos aiosos. En general y dada la procedencia de la raza, las características étnicas pueden ser muy variadas, sin constituir por ello, motivo de descalificación u objeción. Conformación caracterizada por su armonía general y clara orientación al deporte, de silueta grácil y distinción.

Caracteres morfológicos. - Cabeza piramidal y de tamaño medio. Frente recta o ligeramente convexa y ancha. Orejas de tamaño medio y móviles, discretamente separadas y sus puntas con tendencia a la aproximación. Ojos redondeados, a flor de cara y expresivos, con arcadas orbitarias marcadas. Cara recta o muy discretamente subconvexa. Mandíbulas con borde redondeado y amplio espacio entre ellas. Ollares redondeados con cierta proyección hacia delante y labios finos. Cuello ligero, alargado y suavemente arqueado en el borde superior. Bien unido a la cabeza y al tronco con un nacimiento por encima de los encuentros.

Tronco fuerte y profundo. De cruz destacada y prolongada hacia atrás. Dorso ligeramente curvado. Lomo amplio, musculado y horizontal; bien unido adelante y atrás. Grupa larga, fuerte y ligeramente inclinada. Pecho profundo, tórax elíptico, de costillares suavemente arqueados, ijares dilatados y vientre recogido. Extremidades de longitud proporcionada al tronco y correctamente aplomadas. En las anteriores: espalda larga y oblicua, proporcionando un brazo y antebrazo largo y fuerte; cañas y cuartillas cortas con tendones descarnados, definidos y proporcionados entre sí; rodillas y menudillos amplios y bien definidos; cascos amplios, con talones medios y en dirección de las cuartillas. En las posteriores: muslos desarrollados, nalgas anchas y piernas largas. Las regiones

situadas por debajo de éstos, características análogas a las enumeradas para las extremidades anteriores.

Caracteres funcionales. - La conjunción de dotaciones fisiológicas para la marcha de las dos razas parentales, proporcionan al caballo Hispano-árabe una amplia gama de movimientos, caracterizados por tres aires amplios, regulares, cadenciosos y equilibrados, dando como resultado unos movimientos ágiles y con distinción.

Características fanerópticas. - Pelo fino y corto. Son dominantes las capas tordas, alazanas y castañas, siendo admisibles otras.

Caracteres de comportamiento. - Son animales extraordinariamente dóciles, de fácil manejo y pronta compenetración con jinetes y cuidadores. Tienen un temperamento activo y de rápida respuesta, sobrios y resistentes, capaces de superar situaciones adversas sin gran esfuerzo. Facilidad para el aprendizaje.

Aptitudes. - Se trata de un excelente caballo de silla, muy versátil y capaz de satisfacer a toda clase de jinetes en cualquier disciplina deportiva y/o de ocio. Esa especial predisposición para el deporte, lo hace destacar en modalidades como Doma Vaquera, Acoso y Derribo, Concurso Completo de Equitación, Raid, Doma Clásica y Enganche. Asimismo, es una raza con un temperamento muy adecuado para las marchas ecuestres y los deportes en grupo.

4. ESQUEMA DE SELECCIÓN DE LA RAZA EQUINA HISPANO-ÁRABE

El Programa de Mejora se ha elaborado según las directrices establecidas en la Orden APA/1018/2003 de 23 de abril, por la que se establecen los requisitos básicos para los Programas de Mejora y los controles de rendimientos para la evaluación genética de équidos de raza pura; y el Real Decreto 2129/2008, de 26 de diciembre, por el que se establece el Programa nacional de conservación, mejora y fomento de las razas ganaderas.

La raza Hispano-Árabe está recogida en el catálogo oficial de razas de ganado de España en la categoría de "Peligro de Extinción", lo que implica una consideración sobre

ella como raza autóctona de especial protección. El Programa de Mejora contiene connotaciones claramente orientadas a conseguir un progreso genético de la raza de acuerdo a los objetivos planteados por los criadores a través de la Asociación de criadores, pero sin olvidar otros aspectos sobre la conservación de la diversidad genética de la población.

4.1.- Objetivos y criterios de selección

La Asociación de criadores tiene como objetivo general de cría y selección del Caballo Hispano-árabe la mejora de la morfología, dentro de lo establecido por el patrón de la raza, de la conformación, como caballo de silla orientado al deporte, y de las aptitudes funcionales en consonancia con unas cualidades temperamentales (actitud y comportamiento) que faciliten el manejo en la doma y les permitan destacar en las disciplinas para las que se seleccione.

Este objetivo general puede concretarse en una serie de objetivos específicos:

1. Mejora de la Conformación y Aires Básicos: Obtención de animales con unas determinadas características morfológicas (conformación-funcional) y de movimientos (aires de paso, trote y galope) que favorezcan una mejora indirecta de su rendimiento funcional, siempre dentro del patrón racial establecido.

Criterio 1: Calificación de la conformación

Criterio 2: Calificación del Movimiento al paso

Criterio 3: Calificación del Movimiento al trote

Criterio 4: Calificación del Movimiento al galope

2. Mejora de la Funcionalidad: Obtención de caballos con unas aptitudes funcionales que les permitan destacar en las competiciones deportivas en las que participe, que dada la versatilidad de esta raza serían principalmente para las disciplinas de Doma Vaquera, Acoso y Derribo, Concurso Completo de Equitación, Raid, Doma Clásica y Enganche, tanto a nivel nacional como internacional.

Criterio 1: Calificación de la conformación para la Doma Vaquera

Criterio2: Calificación de la actitud/comportamiento para la Doma Vaquera

Criterio 3: Medición de caracteres fisiológicos para el Deporte (pulsaciones por minuto, etc.)

Criterio 4: Resultados obtenidos en PSCJ y Pruebas Oficiales de las diferentes disciplinas hípcas en las que participen

3. Mejora de la Actitud o Comportamiento: Obtención de caballos con una actitud temperamental adecuada tanto para la doma básica como para las competiciones deportivas en las que participe señaladas anteriormente, tanto a nivel nacional como internacional.

Criterio 1: Calificación de la actitud/comportamiento precoz en animales jóvenes

4. Mejora de la Sanidad en caracteres hereditarios: Obtención de animales sanos, que no posean defectos hereditarios que puedan ocasionar defectos transmisibles a su descendencia.

Criterio 1: Ausencia de anomalías de transmisión hereditaria

Criterio 2: Ausencia de anomalías de carácter reproductivo

5. Conservación de la Variabilidad Genética: Selección de los animales, manteniendo en todo momento la variabilidad genética, minimizando el nivel de endogamia y parentesco de la población, con el fin de garantizar la conservación y el progreso de la raza.

Criterio 1: Coeficiente individual de Consanguinidad

4.2.- Control de rendimientos

La utilización conjunta de la información derivada del control de rendimientos y de los registros genealógicos, permitirán la realización de la valoración genética de reproductores de esta Raza. Por ello, es necesaria la recogida sistemática de la información generada en los controles genealógicos, pruebas para la evaluación de la conformación-funcional y los movimientos básicos, y en las Pruebas de Selección de

Caballos Jóvenes (PSCJ) y competiciones deportivas oficiales en las que participen los animales de Pura Raza Hispano-árabe.

1. Datos Genealógicos

Toda la información relacionada con la genealogía de los animales se obtendrá a partir de los datos recogidos en el Libro Genealógico del Pura Raza Hispano-árabe, gestionado por la Asociación de criadores. La propia Asociación será la encargada de realizar los trámites que aseguren la recepción de la información actualizada al menos una vez al año, preferiblemente en los meses de Enero y Febrero.

2. Datos de conformación-funcional y movimientos básicos

La valoración de la conformación-funcional de los animales y sus movimientos básicos se realizará en las Pruebas de Valoración de Reproductores (Aptitud Básica y Calificados) y Concursos Morfológicos que recibirán la denominación de Control de Rendimientos Morfo-funcionales para Caballos de Pura Raza Hispano-árabe. También se recogerá esta información en las PSCJ de Doma Vaquera, por ser esta asociación de criadores los encargados de la organización y difusión de estas pruebas junto con las morfo-funcionales. Se difundirá a principio de año el Calendario de Control de Rendimientos Morfo-funcionales para Caballos de Pura Raza Hispano-Árabe y el Ciclo de Caballos Jóvenes de Doma Vaquera, con el lugar de celebración y la fecha de cada una de ellas. En la medida de lo posible, se intentará coincidir con este tipo de pruebas: valoración de reproductores, concursos morfológicos y PSCJ de Doma Vaquera de forma que se optimicen los recursos y se maximicen el número de controles de rendimiento a los ejemplares. En las pruebas podrán participar todos los animales (machos y hembras) inscritos en el Libro Genealógico de esta raza, con un rango de edad desde un año en adelante para los Concursos Morfológicos, de tres años en adelante para la valoración de reproductores (Aptitud Básica) y de cuatro años en adelante para las PSCJ de Doma Vaquera y otras pruebas deportivas oficiales.

3. Control de Rendimientos funcionales para la disciplina de Doma Vaquera

La evaluación de la aptitud funcional para la Doma Vaquera se realizará a partir de la información recopilada en las PSCJ de esta disciplina coordinado por la Asociación de criadores según el Reglamento General de Organización de las PSCJ aprobado por la

Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios (DPMA) del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA). Así mismo, también se recogerá información de las Pruebas de Valoración de Reproductores Calificados, Prueba montada de funcionalidad y de los concursos de doma vaquera oficialmente reconocidos en los que participen animales de Pura Raza Hispano-árabe.

4.3.- Valoración Genética

La valoración genética de los animales se basará en los modelos mixtos, mediante la aplicación de distintas modalidades del BLUP (Best Linear Unbiased Predictor) modelo animal, en el que se considerarán todas las relaciones de parentesco conocidas entre los participantes en los distintos controles de rendimientos y sus progenitores y los resultados obtenidos en los mismos. Esta metodología de valoración podrá ser sustituida por otras más avanzadas una vez que hayan sido testadas y puestas a punto en la Raza.

La evaluación de los animales se complementará con el cálculo de índices sintéticos específicos para cada una de las funcionalidades propuestas, aplicándose la ponderación más adecuada para cada caso sobre los caracteres de interés para cada propósito. Este aspecto será objeto de investigación por parte de nuestro grupo, en cuanto la información que se genere nos lo permita.

Todos los participantes en las pruebas de Control de Rendimientos establecidas en el Programa de Mejora del Caballo de Pura Raza Hispano-árabe, serán evaluados anualmente en función de sus propios resultados y el de todos los individuos emparentados genealógicamente, pudiendo obtener las categorías genéticas de Jóvenes Reproductores Recomendados, Reproductores Calificados y Reproductor Élite para cada una de las disciplinas o aptitudes evaluadas, siempre que se disponga de información suficiente y adecuada para ello.

1. Valoración Genética para "Jóvenes Reproductores Recomendados (JRR)"

Todos los ejemplares de 4, 5 y 6 años inscritos en el Libro Genealógico que participen en las pruebas de Control de Rendimientos establecidas en el Programa de

Mejora del Caballo de Pura Raza Hispano-árabe, serán evaluados anualmente en función de sus propios resultados, en lo que se denomina Valoración Genética Individual. Se obtendrán valores genéticos para los siguientes objetivos de selección:

- JRR para Conformación-Funcional y Movimientos
- JRR para Doma Vaquera

2. Valoración Genética de Reproductor Calificado

Aquellos ejemplares que, a partir de los 7 años, hayan obtenido un índice genético superior al dintel establecido para el carácter o aptitud de que se trate para esta raza, deberán superar unas pruebas organizadas por la Unión de Criadores donde se valoren las cualidades morfológicas, de conformación, funcionales, biomecánicas y locomotoras, evaluando los movimientos de los tres aires básicos: paso, trote y galope y las aptitudes de comportamiento, además de las características reproductivas y sanitarias, de acuerdo al procedimiento establecido por la Unión de Criadores. Se obtendrán valores genéticos para los siguientes objetivos de selección:

- Reproductor Mejorante para Conformación-Funcional y Movimientos
- Reproductor Mejorante para Doma Vaquera

3. Reproductor élite

La categoría de "Reproductor Élite" estará basada en los resultados obtenidos por los animales y sus descendientes y/o colaterales en las pruebas de Valoración Genética a las que hayan sido sometidos.

Así, sólo podrán optar a esta categoría los animales, inscritos en el Registro Definitivo del Libro Genealógico de la raza Hispano-árabe, de 7 o más años de edad, que hayan obtenido la categoría de Reproductor Mejorante en alguna de las categorías establecidas en el presente Programa de Mejora y que además hayan destacado él y sus descendientes por méritos deportivos y/o pruebas oficiales establecidas por la Asociación de Criadores. Además, deberán cumplir los requisitos sanitarios y reproductivos establecidos por la Asociación de Criadores según la normativa vigente.

4.4.- Diagrama-Resumen del Programa de Mejora del Caballo de Pura Raza Hispano-Árabe

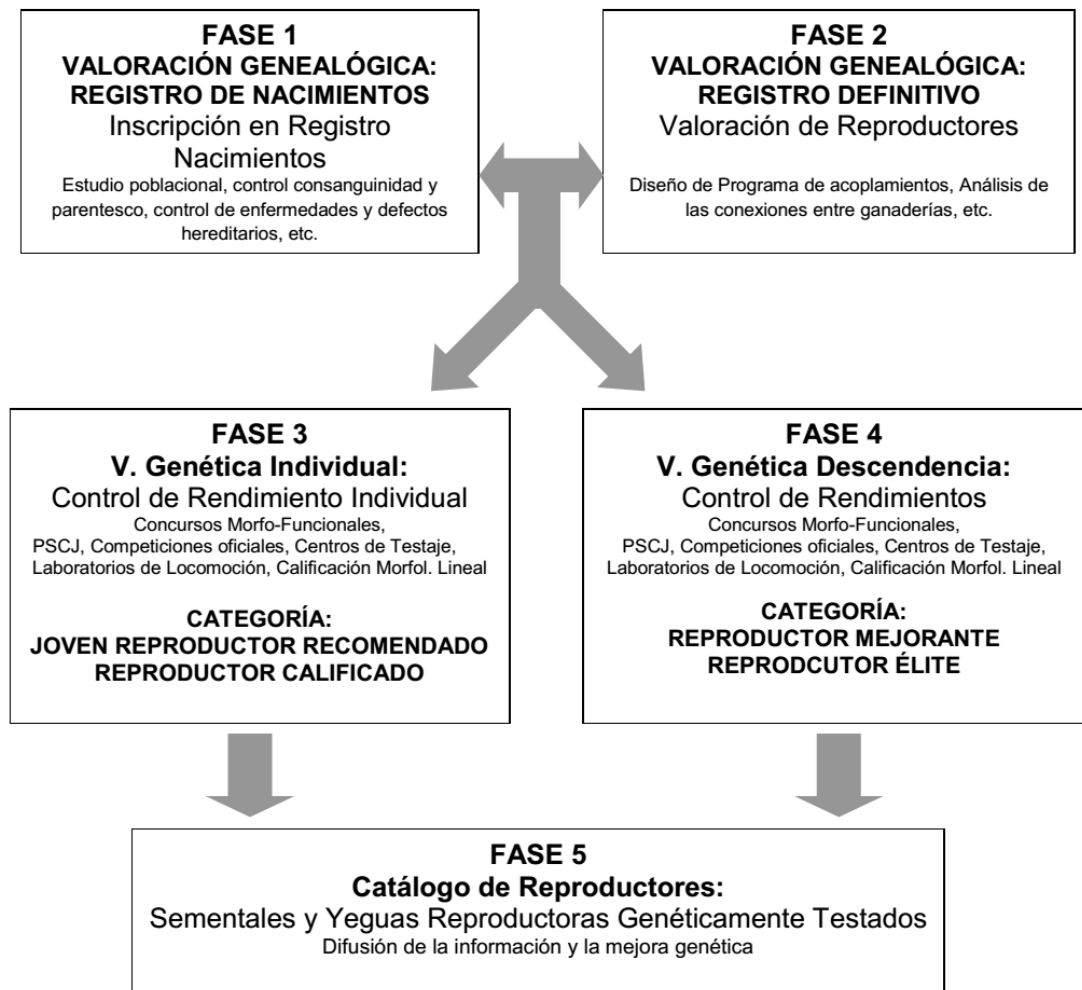


Figura 9. Esquema de selección del Caballo de Pura Raza Hispano-Árabe

5. OBJETIVOS

El propósito de esta tesis es esencialmente práctico, de interés para los investigadores como para los principales beneficiarios que son los ganaderos del Pura Raza Hispano-Árabe. Por un lado, pretende ofrecer parámetros genéticos propios para los criterios de selección establecidos en el Esquema de Selección, así como los primeros datos de campo sobre valores genéticos y tendencias genéticas, pero tratando de

conocer en profundidad la situación de la población además de detectar los puntos críticos de la información, tanto genealógica como productiva obtenida en el esquema.

Por todo ello se proponen los siguientes objetivos establecidos dentro del Esquema de Selección de la raza equina Hispano-Árabe:

1. Analizar el pedigrí de los animales inscritos en el Libro Genealógico, como base para el desarrollo del esquema de selección.
2. Obtener estadísticos descriptivos desde análisis de los efectos fijos de los criterios de selección.
3. Estimar parámetros genéticos propios de los caracteres de conformación y de movimientos de la raza.
4. Evaluar genéticamente los caracteres de conformación y de movimientos de la raza y sus tendencias.
5. Establecer relaciones entre los perfiles de marcadores genéticos moleculares y los niveles de sangre de los individuos presentes en la población Hispano-Árabe.

6. BIBLIOGRAFÍA

- AECCAá (2014) Catálogo de Reproductores. Asociación Nacional de Criadores de Caballos Caballos Anglo-árabes, España.
- ANCADES (2014) Catálogo de Reproductores. Asociación Nacional de Criadores del Caballo de Deporte Español, España.
- ANCCE (2015) Catálogo de Reproductores. Asociación Nacional de Criadores de Caballos de Pura Raza Española, España.
- ARCA (2015) Sistema Nacional de Información de Razas. URL <http://www.magrama.gob.es/es/ganaderia/temas/zootecnia/razas-ganaderas/>.
- ASTROT (2013) Catálogo de Reproductores. Associació de Criadors i Propietaris de Cavalls de Trot, España.
- Camacho M.E. (2002) Estudio de la variabilidad fenotípica y genética de los caracteres productivos del tipo Tinerfeño de la Agrupación Caprina Canaria. In: *Departamento de Genética*. Universidad de Córdoba, Córdoba, España.
- Delgado J.V., Vega-Pla J.L., León J.M., Rodríguez de la Borbolla A., Vallecillo A. & Cabello A. (2005) Program of Genetic Management of the Hispano-Árabe Horse Breed. *Archivos de Zootecnia* **54**, 273-6.
- Fernández G., Valera M. & Molina A. (1998) La valoración morfológica lineal en el caballo de Pura Raza Española. *Avances en Alimentacion y Mejora Animal* **38**, 7-10.

- Gómez M.D., Valera M., Cervantes I., Vinuesa M., Peña F. & Molina A. (2006) Development of a linear type trait system for Spanish Purebred horses (preliminary analysis). In: *57th Annual Meeting of the European Association for Animal Production*, vol. 12, Antalya, Turkey.
- Ricard A. (1998) Developments in the genetics evaluation of performance traits in horses. In: *6th World Congress Genetics Applied Livestock Production*, pp. 426-36.
- Saastamoinen M., Suontama M. & Ojala M. (1998) Correlation between, and the effects of some environmental factors on the conformation traits in the Finnhorse trotter. In: *9th Annual Meeting of the European Association for Animal Production Warsaw* (ed. by Arendonk JAMv), p. 416, Poland.
- San Primitivo Tirados F. (2001) La mejora genética animal en la segunda mitad del siglo XX. *Archivos de Zootecnia* **50**, 517-46.



Capítulo I: ANÁLISIS DEL PEDIGRÍ EN EL CABALLO HISPANO-ÁRABE

- I. Origen e influencia de las razas fundadoras
- II. Diversidad genética

1.1.- RESUMEN

Para investigar la variabilidad genética y la estructura demográfica de la raza Hispano-Árabe, así como para conocer el estado actual de la población de estos caballos, se analizó la información de pedigrí completo, incluido en el Libro Genealógico de la misma. El conjunto de datos incluyó 6.954 Hispano-Árabes registrados desde su fundación en 1950 hasta el año 2014. La población de referencia estuvo formada por 2.014 animales nacidos entre el año 2009 y el 2013. El grado de completitud del pedigrí, los parámetros demográficos y los parámetros de diversidad genética fueron calculados por primera vez, después del gran desarrollo de la raza en los últimos diez años. El análisis se realizó en ambas poblaciones (Total y de Referencia). El intervalo medio por generación fue $10,7 \pm 6,2$ y $8,5 \pm 2,7$ años para los padres y madres, respectivamente, mientras que la edad promedio de los progenitores al nacimiento de sus hijos fue $9,87 \pm 4,56$ en la población de referencia. El 100% de los padres eran conocidos en los animales de la población de referencia que mostró una media de generaciones equivalentes conocidas, de $1,63 \pm 0,51$ y una consanguinidad media de 0,26%. Para esta población, el parentesco medio entre los animales fue 0,17. La tasa de consanguinidad por generación equivalente fue del 0,15%, y el tamaño efectivo de la población calculada a partir de esta tasa fue de 94. El número efectivo de fundadores y ancestros, y las contribuciones genéticas, indican una clara expansión de la raza, además de evidenciar que en la actualidad prevalecen los genes de las razas fundadoras. El análisis del origen de los genes indica que la población no ha sufrido cuellos de botella recientes y que la diversidad genética se mantiene. Sin embargo, las contribuciones acumuladas de fundadores, ancestros y ganaderías alertan del uso intensivo que se está ejerciendo sobre unos pocos individuos. Métodos diseñados para planificar apareamientos deben implantarse, con la intención de desequilibrar la descendencia de los padres hacia aquellos con menos representación, consiguiendo maximizar el número de contribuyentes a la variabilidad genética y evitar en un futuro, pérdidas de diversidad genética en el caballo Hispano-Árabe.

Palabras clave: Caballo Hispano Árabe, demografía, análisis del pedigrí, diversidad genética.

SUMMARY

In order to investigate the genetic variability and the demographic structure of the Hispano-Arabe horse breed as well as their current horse population status, the full pedigree information was analyzed included in their genealogical book. The data set contained 6,954 Hispano-Arabe records registered since establishment in the year 1950 up to the year 2014. The reference population was composed of 2,014 animals born between the years 2009 to 2013. The pedigree completeness degree, the demographic parameters and the genetic diversity parameters were computed for the very first time considering the breed's great development over the last ten years. The analysis was carried out in both populations (Total and Reference). The mean generation interval was 10.7 ± 6.2 and 8.5 ± 2.7 years for respectively fathers and mothers, while the average parental age at the birth of their offspring was 9.87 ± 4.56 with respect to the reference population. In all cases (100%) the parents of the reference population animals were known exhibiting an average of known equivalent generations of 1.63 ± 0.51 and an average consanguinity of 0.26%. For this population, the average kinship between animals entailed 0.17. The inbreeding rate per equivalent generation amounted to 0.15%, whereas the effective population size derived from this rate was equal to 94. The effective founder and ancestor number, together with the genetic contributions, indicated a clear breed expansion and evidenced that currently genes of the founding breeds prevail. The gene origin analysis revealed that the population had not suffered recent bottlenecks and that the genetic diversity has been maintained. Nonetheless, the accumulated founder, ancestor and stud contributions alert on the intensive use which is being exerted on a few individuals. Methods designed to plan pairings should be implemented, with the intention of unbalancing the offspring of parents towards those less represented, thus maximizing the number of genetic variability contributors and therefore preventing a future genetic diversity loss of the Hispano-Arabe horse.

Keywords: Hispano-Arabe Horse, Demography, Pedigree Analysis, Genetic Diversity.

1.2.- INTRODUCCIÓN

El caballo Hispano-Árabe es una raza originada en España por la fijación del cruce entre las dos razas que integran su nombre, el Pura Raza Español y el Pura Raza Árabe. Actualmente la raza equina Hispano-Árabe está catalogada como raza autóctona en peligro de extinción según el catálogo oficial de razas de ganado de España (Magrama, 2014). Los mayores censos de la raza se localizan fundamentalmente en el centro y sur de la Península Ibérica, y la Unión Española de Ganaderos de Pura Raza Hispano-Árabe (en adelante, UEGHá) es la gestora del Libro Genealógico.

Según Gama (2002), la caracterización de un sistema de producción, incluyendo el profundo conocimiento de la estructura demográfica, debe constituirse en la primera etapa de cualquier programa de mejora genética. Por tanto, estudiar la estructura genética de una población permite conocer cómo se ha llevado a cabo el flujo de genes en la misma, proporcionando además información sobre los genes que la ha originado y estimando en qué medida participan en la población actual. Este conocimiento aporta información sobre su grado de variabilidad genética y permite tomar decisiones en relación a su gestión genética (Vicente y cols., 2012; Medeiros y cols., 2014).

Habitualmente, la vigilancia de la diversidad genética se lleva a cabo mediante la evaluación de la evolución de la endogamia y las relaciones de parentesco en la población de interés (Wright, 1922), siendo el tamaño efectivo de la población un buen indicador del riesgo de erosión genética (FAO, 1998). Sin embargo, los parámetros relacionados con la endogamia dependen de la integridad y veracidad de la información del pedigrí y de los cambios en la endogamia debido a las diferentes prácticas de cruzamientos, no siendo estas variaciones perceptibles de forma inmediata (Carolino y Gama, 2008).

Puede indicarse que la cohesión y calidad del pedigrí del caballo Hispano – Árabe está garantizada, ya que las paternidades en el sector equino de España están comprobadas a través de pruebas de filiación, utilizándose para ello marcadores moleculares del ADN. Sin embargo, un estudio demográfico de la población se debe complementar con un análisis más profundo a través de la determinación de parámetros relacionados con el origen de los genes, para ello nos valemos de la información

proporcionada por los fundadores (James, 1972; Lacy, 1989) y ancestros (Boichard y cols., 1997). Estos parámetros complementarios proporcionan una visión más clara de los cambios que se producen en la población en un corto período de tiempo (Boichard y cols., 1997).

Durante la ejecución de los programas de selección son necesarios el estudio de la variabilidad genética, la estructura y el flujo de genes, con el fin de establecer una gestión adecuada del patrimonio genético (Cervantes y cols., 2008b) para lo que, las herramientas genealógicas, son sustanciales para describirlos (Moureaux y cols., 1996; Głazewska y Jezierski, 2004).

Por otra parte, los análisis demográficos también pueden ayudar a entender importantes circunstancias que afectan a la historia genética de las poblaciones (Valera y cols., 2005). Por el efecto que ejercen estos estudios en los programas de mejora, la mayoría de las especies han sido caracterizadas demográficamente, como en el caso del bovino, ovino y caprino (Sölkner y cols., 1998; Gutiérrez y cols., 2003; León y cols., 2005; Carolino y Gama, 2008; Saínz y cols., 2011). Respecto a la especie que nos atañe, también se encuentran estudios basados en la información del pedigrí, y así lo encontramos en publicaciones realizadas en razas nacionales (Cervantes y cols., 2008b; Cervantes y cols., 2009; Bartolomé y cols., 2011; Gómez y cols., 2011; Delgado y cols., 2014), como en razas extranjeras (Poncet y cols., 2006; Schurink y cols., 2012; Vicente y cols., 2012; Bokor y cols., 2013).

Entre los requerimientos para el desarrollo del esquema de selección del caballo Hispano-Árabe se encuentra la necesidad de realizar una caracterización de la diversidad genética basada en la información del pedigrí. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es determinar pirámides de edades, intervalos generacionales, integridad del pedigrí, parámetros de diversidad genética, tamaño efectivo de la población e inferencia sobre las tasas de incremento de la endogamia en la raza. Adicionalmente, con la información obtenida de ancestros y fundadores se evaluó la influencia de las razas fundadoras en la población actual del caballo Hispano-Árabe.

1.3.- MATERIAL Y MÉTODOS

1.3.1.- Datos de la población

La información de pedigrí fue obtenida del Libro Genealógico (en adelante, L.G.) del caballo Hispano-Árabe (en adelante, HÁ), con información registrada desde la creación del Libro de Registro de la raza, iniciada en 1986 (Orden 70/1986, de 21 de agosto del Ministerio de Defensa) y actualizada hasta el año 2014. La información fue proporcionada por la UEGHÁ y analizada en el presente estudio. Los datos fueron verificados y validados en función de la fecha de nacimiento, la identificación individual y por la existencia de duplicidades en las mismas. Después de su edición, el archivo del pedigrí incluyó 12.017 animales, de los cuales 6.955 (47% machos y 53% hembras) fueron registrados como HÁ. Los animales restantes pertenecen al Pura Raza Española, Pura Raza Árabe y al Registro Auxiliar. La base de datos contó con la siguiente información: nombre del animal, número de identificación único, fecha de nacimiento, sexo, progenitores, tipo de registro al que pertenece (registro de nacimiento, registro definitivo y registro auxiliar), criador y estado actual (vivo, muerto o castrado). Para el cálculo de los diferentes parámetros también se determinó una población de referencia, que a menudo se asume que representa la reserva genética actual de una raza. Esta población de referencia por lo general cubre un corto período de tiempo para evitar la posibilidad de incluir los dos padres y sus hijos, ya que esto podría sesgar los resultados (Boichard y cols., 1997). En nuestro análisis, la población de referencia corresponde a un grupo de individuos nacidos entre los años 2009 y 2013 (n=2.014 individuos).

1.3.2.- Análisis del pedigrí

Los diferentes parámetros demográficos y genéticos fueron calculados usando el programa ENDOG V4.8 (Gutiérrez y Goyache, 2005). Este software ha sido ampliamente utilizado en los últimos años para el análisis genealógico de diferentes poblaciones domésticas (Cervantes y cols., 2009; Vicente y cols., 2012; Pinheiro y cols., 2013; Medeiros y cols., 2014).

El grado de completitud del pedigrí de la raza Hispano-Árabe fue evaluado por medio de los siguientes parámetros (Maignel y cols., 1996; Gutiérrez y Goyache, 2005):

- 1) el número máximo de generaciones trazadas (número de generaciones que separan un individuo de su ancestro más lejano);
- 2) el número máximo de generaciones completas (la generación más lejana con dos antecesores conocidos);
- 3) el número equivalente de generaciones completas, (suma de todos los ancestros conocidos, calculados como la suma $(1/2n)$ donde n es el número de generaciones que separan al individuo de cada ancestro conocido); y
- 4) la proporción de ancestros conocidos hasta la quinta generación parental.

1.3.3.- Parámetros demográficos

Intervalo generacional: Se considera la edad media de los progenitores cuando la primera descendencia de sus hijos ha nacido (Van der Werf, 2000). Se ha calculado para las cuatro vías de transmisión genética (padre-hijo, padre-hija, madre-hijo, madre-hija) usando las fechas de nacimiento de los animales inscritos y de sus respectivos padres.

La edad promedio de los padres en el nacimiento de sus hijos: Es el promedio de edad de los padres cuando toda su descendencia es considerada para la reproducción. Se calcula para cada una de las cuatro vías de transmisión genética de los padres, utilizando las fechas de nacimiento registradas en el libro genealógico.

1.3.4.- Parámetros de diversidad genética

Número efectivo de fundadores (f_e): Se define como la probabilidad de que dos alelos extraídos al azar en la población estudiada se originen del mismo fundador (James, 1972). Se calcula a partir de la contribución genética de los fundadores en el pool genético de la población (Lacy, 1989).

Número efectivo de ancestros (f_a): Definida como el número mínimo de ancestros, no necesariamente fundadores, que expliquen la completa diversidad genética de una población (Boichard y cols., 1997). Este parámetro no explica completamente la pérdida

de genes por la deriva de los ancestros de una población de referencia, sino que complementa la información ofrecida por f_e que representa las pérdidas de variabilidad genética producidas por el uso desequilibrado de individuos en la reproducción produciendo cuellos de botella (Gutiérrez y cols., 2005).

Número efectivo de fundadores en el genoma (f_g): Representa los efectos de las contribuciones desiguales de fundadores, cuellos de botella, y la deriva genética y por lo tanto corresponde al número de fundadores que se esperaría para producir la misma diversidad genética en la población en estudio si los fundadores estaban representados por igual y sin pérdida de alelos (Lacy, 1989).

Los ratios f_e/f_a fueron también calculados, un valor más alto indica que la población ha sufrido un fuerte cuello de botella y por lo tanto pérdida de variabilidad genética.

Evolución del número efectivo de fundadores y ancestros: Además del cálculo de los parámetros del origen de los genes, se calcularon los números efectivos de fundadores y ancestros en una serie de poblaciones de referencia definidos como grupos de individuos nacidos en intervalos de 5 años, para evaluar cómo ha evolucionado la diversidad genética en el caballo Hispano-Árabe.

Contribución genética de diferentes grupos genéticos: Las contribuciones genéticas de fundadores, ancestros y ganaderías a menudo se calculan en los análisis demográficos (Gutiérrez y Goyache 2005; Carolino y Gama 2008). En nuestro caso, el interés fue evaluar la contribución genética de los individuos procedentes de diferentes grupos genéticos (HÁ, PRE, PRÁ, RA) y determinar el grado en que han contribuido a la reserva genética del caballo Hispano-Árabe. En este análisis, cada fundador se asoció con su correspondiente grupo genético, y la contribución genética de un "grupo genético fundador" dado, que se obtiene sumando las contribuciones genéticas en la población de referencia. Para evaluar cómo ha cambiado con el tiempo la contribución de los diferentes grupos genéticos en la reserva genética del caballo Hispano-Árabe, las poblaciones de referencia se definieron en intervalos de 5 años, como se indicó anteriormente para el número efectivo de fundadores y ancestros.

Consanguinidad individual (F): Es la probabilidad de que un individuo tenga dos genes idénticos por descendencia (Wright, 1931). Este parámetro es calculado por el método tabular descrito por Meuwissen y Luo (1992).

Parentesco medio (AR): Se define como la probabilidad de que un alelo elegido al azar de la población, pertenezca a un individuo dado, o para un grupo de individuos. El parentesco medio expresa cómo un individuo o un grupo de individuos representan a la población. El parentesco medio es una apropiada medida de la consanguinidad en caso de panmixia. Las diferencias entre el promedio de la consanguinidad y parentesco medio son por lo tanto informativos de la estructura de apareamiento no aleatorio de la población (Goyache y cols., 2003). El parentesco medio fue calculado por generación desde los valores medios individuales de parentesco, utilizando el algoritmo propuesto por Gutiérrez y Goyache (2005).

Tasa de consanguinidad por generación equivalente (ΔF): Fue calculada para cada individuo en el pedigrí, siguiendo las modificaciones propuestas por Gutiérrez y cols. (2009), para tener en cuenta la exclusión de la autofecundación, como $\Delta F = 1 - t^{-1}\sqrt{1 - F}$, donde F es el coeficiente de consanguinidad para cada individuo y t las generaciones completas equivalentes computadas en el pedigrí de este individuo.

Incremento de la consanguinidad por año ($\Delta F/\text{año}$): Es obtenido mediante la regresión del coeficiente de consanguinidad individual con el año de nacimiento, habiéndose utilizado para ello el procedimiento PROC GLM del paquete estadístico SAS (SAS, 2009), lo que se considera que es el incremento de la consanguinidad por año ($\Delta F/\text{año}$).

Incremento de la consanguinidad por generación ($\Delta F/\text{generación}$): A partir de $\Delta F/\text{año}$, se determinó el incremento de consanguinidad por generación ($\Delta F/\text{generación}$), como ($\Delta F/\text{año} \times L$), donde L representa el intervalo generacional.

Tamaño efectivo de la población (\bar{N}_e): El número de individuos que tendría una población real para mantener las tasas de consanguinidad que le corresponderían si

tuviera la condición de ideal desde el punto de vista reproductivo (grandes dimensiones, ausencia de selección, apareamientos aleatorios, igual número de machos y de hembras, etc.), y contribuir igualmente a la próxima generación.

El tamaño efectivo de la población se deriva desde el incremento de la consanguinidad (ΔF) calculado como: $\bar{N}_e = \frac{1}{(2\Delta F)}$ donde ΔF se refiere al incremento de la consanguinidad. El programa ENDOG (Gutiérrez y Goyache, 2005) computa el tamaño efectivo de la población desde tres diferentes aspectos: número de generaciones completas trazadas, número de generaciones máximas trazadas y número de generaciones equivalentes trazadas.

1.4.- RESULTADOS

En el L.G. de la raza Hispano-Árabe se encuentran registrados 6.954 animales denominados HÁ. La evolución del número de machos y hembras registrados en el L.G. por años se muestra en la **Figura 1.1**. Se observa un claro incremento de los censos desde su creación hasta la actualidad, destacándose que a partir del período 1999-2003 la inscripción de productos es muy pronunciada.

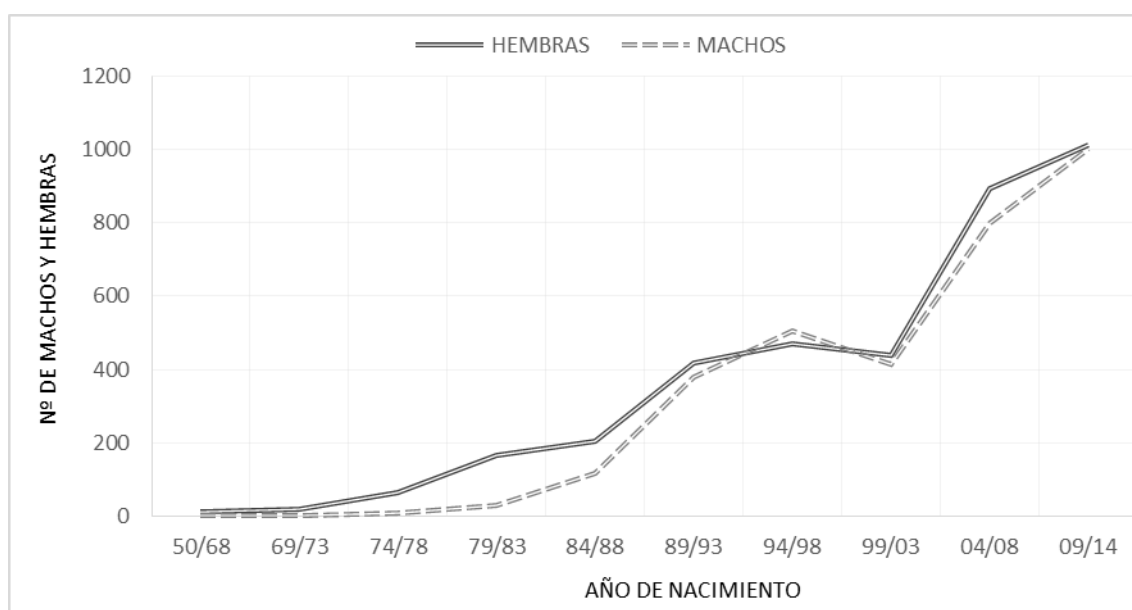


Figura 1.1.- Número de machos y hembras registrados en el Libro Genealógico del caballo Hispano-Árabe, por años (1950-2014).

En la **Figura 1.2** se observa la distribución por edades concerniente a la población en estado actual vivo/activo (animales nacidos entre 1981 y 2014). A primera vista se observa un comportamiento normal, apreciando que los animales nacidos entre los años 50 hasta el año 2000 tienen una representación escasa en la población. Mientras que los animales con edades comprendidas entre 1 y 10 años representan el 53% de la población actual.

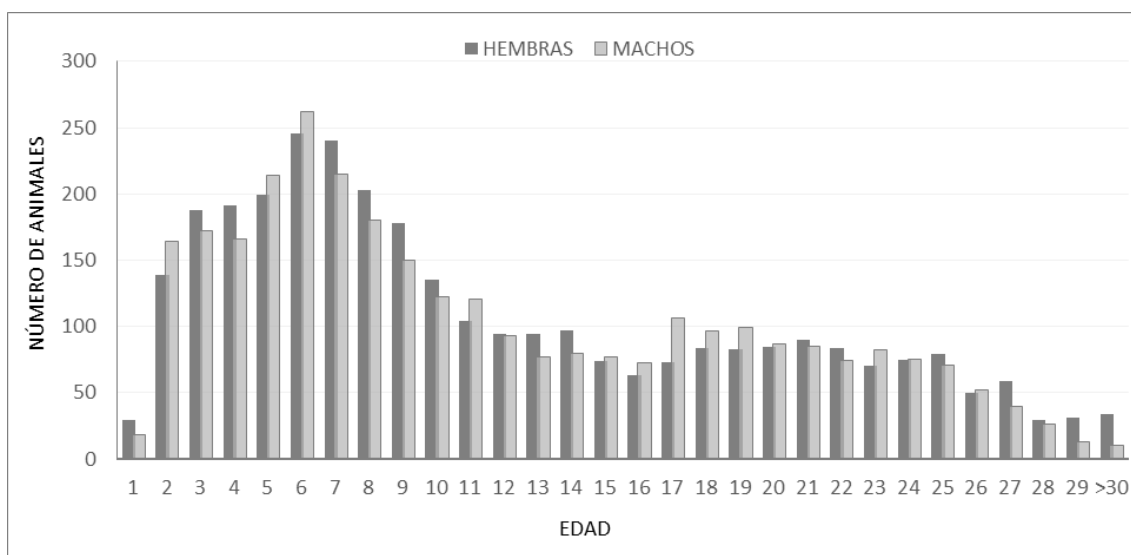


Figura 1.2.- Pirámides de edades de machos y hembras nacidos entre 1981 y 2014 en el caballo Hispano - Árabe.

El grado de completitud del pedigrí en ambas poblaciones (total y de referencia) se ilustra en la **Figura 1.3**. Como era lo esperado, la primera generación, la más reciente, fue la más completa del pedigrí, con un 78% de animales con progenitores conocidos. A continuación, se aprecia una pérdida constante de información genealógica, llegando a observarse en la cuarta generación tan solo un 3% de ancestros conocidos (**Tabla 1.1**).

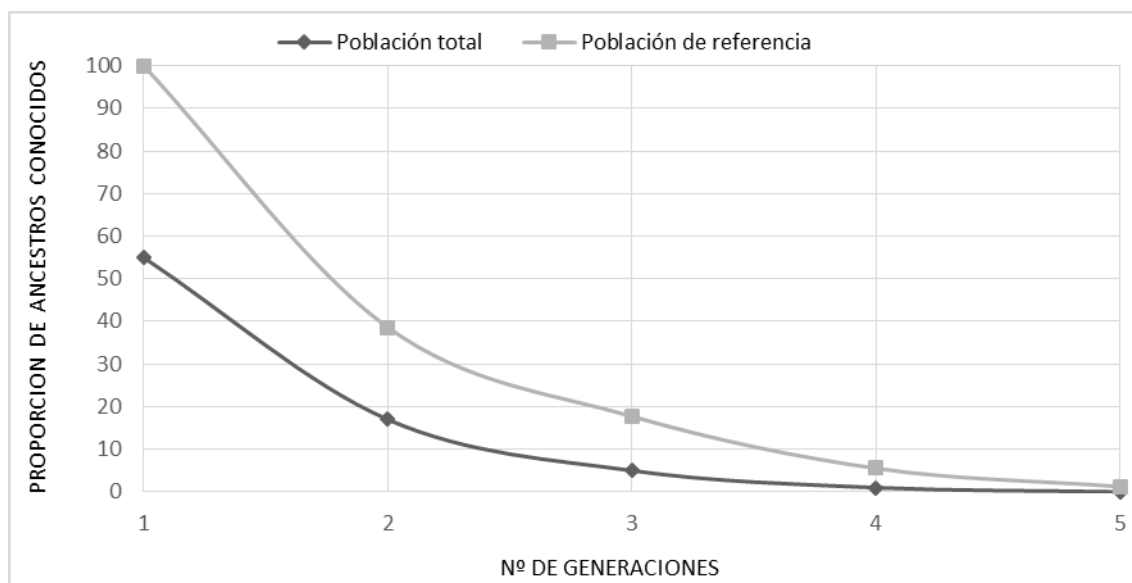


Figura 1.3.- Porcentaje promedio de antepasados conocidos por generación en el caballo Hispano - Árabe.

El grado de completitud del pedigrí también se evaluó por el número de generaciones equivalentes, lo que corresponde a la media de generaciones completas conocidas en el pedigrí de un individuo. En la población de referencia se encontraron rangos entre 1 generación conocida hasta individuos con 3,5 generaciones conocidas. El número de generaciones máximas trazadas para la población de referencia contenía en promedio 2,63 generaciones y 1,14 generaciones completas, mientras, el número de generaciones completas equivalentes fue de 1,63. Además, se observa que la población de referencia muestra un mejor comportamiento respecto a la profundidad del pedigrí, sin embargo este incremento no es muy significativo (**Tabla 1.1**).

Tabla 1.1.- Nivel de completitud del pedigrí en el caballo Hispano - Árabe.

Ítem	Población total	Población de referencia
Máximo No. de generaciones trazadas, media \pm D.E.	1,14 \pm 1,04	2,63 \pm 1,59
Máximo No. generaciones completas, media \pm D.E.	0,60 \pm 0,36	1,14 \pm 0,37
No. de generaciones completas equivalentes, media \pm D.E.	0,79 \pm 0,54	1,63 \pm 0,51
Porcentaje de ancestros conocidos:		
Primera generación (padres) %	55	100
Segunda generación, %	17	39
Tercera generación, %	5	18
Cuarta generación, %	1	6
Quinta generación, %	-	1

Respecto a la edad media de los padres al nacimiento de su descendencia, el promedio de edad fue $9,87 \pm 4,56$ años en la población de referencia (**Tabla 1.2**). Estos resultados indican que, en comparación con los sementales, el uso de las yeguas comenzó a una edad más tardía. Además, el 64% de la descendencia fue engendrada por yeguas con edades iguales o por encima de los 10 años, mientras que el porcentaje de descendientes producidos por los sementales de la misma gama de edad fue del 36%.

Tabla 1.2.- Edad promedio de los progenitores al nacimiento de sus hijos (media y D.E.), para toda la población y para la población de referencia en el caballo Hispano Árabe (animales nacidos entre 2009 y 2013).

Transmisión	Población total		Población de referencia	
	n	Edad	n	Edad
Padre-hijo	3189	$10,31 \pm 4,79$	1003	$9,59 \pm 4,71$
Padre-hija	3410	$10,19 \pm 4,69$	1011	$9,58 \pm 4,59$
Madre-hijo	3180	$10,08 \pm 4,60$	1003	$10,20 \pm 4,53$
Madre-hija	3374	$9,94 \pm 4,45$	1011	$10,12 \pm 4,39$
Promedio	-	10,13	-	9,87

Los intervalos generacionales medios para las diferentes vías selectivas oscilaron entre 7,75 y 11,40 años en la población de referencia (**Tabla 1.3**). La vía madre-hija fue la que mostró el intervalo más bajo frente a las demás vías y el promedio del intervalo generacional en la población de referencia se mantuvo en los 9,6 años.

Tabla 1.3.- Intervalo generacional (media y D.E.), para toda la población y para la población de referencia en el caballo Hispano-Árabe (animales nacidos entre 2009 y 2013).

Trasmisión	Población total		Población de referencia	
	n	Edad	n	Edad
Padre-hijo	187	$11,17 \pm 5,42$	86	$9,98 \pm 6,01$
Padre-hija	703	$10,33 \pm 4,73$	146	$11,40 \pm 6,38$
Madre-hijo	186	$9,89 \pm 4,12$	86	$9,17 \pm 3,49$
Madre-hija	684	$9,65 \pm 4,25$	146	$7,75 \pm 1,87$
Promedio	-	10,26	-	9,58

Los resultados de la evaluación retrospectiva de las contribuciones genéticas acumuladas de los fundadores, los antepasados, y los rebaños a la población de referencia se resumen en la **Tabla 1.4**. En total, hubo 1.839 fundadores, de los cuales 578

eran sementales y 1.261 fueron yeguas. Así mismo, el número efectivo de fundadores y ancestros encontrados fue de 402 y 297, respectivamente. Se halló una contribución equilibrada entre el número de fundadores equivalentes en el genoma y el número de ancestros contribuyentes al 50% de la reserva genética, lo que correspondió a los aportes de 208 individuos en cada categoría.

La fuerte influencia de unas pocas ganaderías también se refleja en los valores bajos para el número efectivo de ganaderías que suministran padres, abuelos y bisabuelos en la población actual. El número de rebaños que suministran abuelos y bisabuelos fue muy inferior al suministro de padres (**Tabla 1.4**).

Tabla 1.4.- Análisis de las probabilidades del origen de los genes en la población de referencia el caballo Hispano-Árabe (animales nacidos entre 2009 y 2013).

Ítem	Población de referencia
Número de fundadores a la contribución (f)	1839
Número de ancestros a la contribución	1570
Número efectivo de fundadores (f_e)	402
Número efectivo de ancestros (f_a)	297
Ratio f_e/f_a	1,35
Ganaderías que suministran padres	109
Ganaderías que suministran abuelos	19
Ganaderías que suministran bisabuelos	7
Fundadores equivalentes en el genoma (f_g)	208
Número de ancestros contribuyentes al 50% de la variabilidad genética	208

Las contribuciones genéticas acumuladas de los fundadores y ancestros a la reserva genética de la población de referencia se muestran en la **Figura 1.4**, lo que indica claramente que existe un grupo predominante de animales con una gran influencia en la raza Hispano-Árabe. Cuando se compara con los fundadores, pocos son los ancestros que contribuyen a la mayor parte de la variación genética; por ejemplo, los 90 primeros ancestros contribuyeron casi al 25% del pool genético.

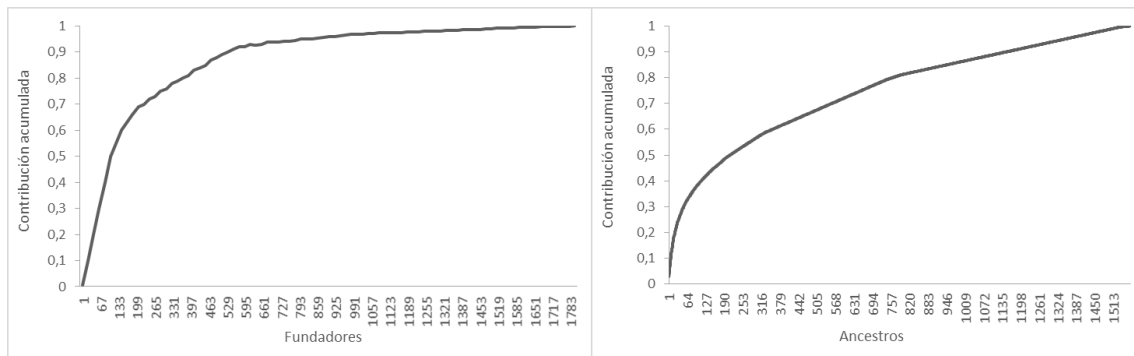


Figura 1.4.- Contribución genética acumulada de ancestros y fundadores en la población de referencia del caballo Hispano-Árabe.

El f_a refleja una contribución desequilibrada de ancestros al pool genético del caballo Hispano-Árabe, siendo esta cifra 297 individuos. El ratio entre f_e/f_a fue bajo, demostrándonos que la población no ha sufrido ningún cuello de botella. Los valores de f_g fueron de alrededor de 208, indicándonos una fuerte retención de diversidad genética en la población. A través de los años, el número efectivo de fundadores y ancestros han mostrado un incremento constante desde finales del año 1998. A partir del año 2008, el número efectivo de fundadores y ancestros fue relativamente estable (Figura 1.5).

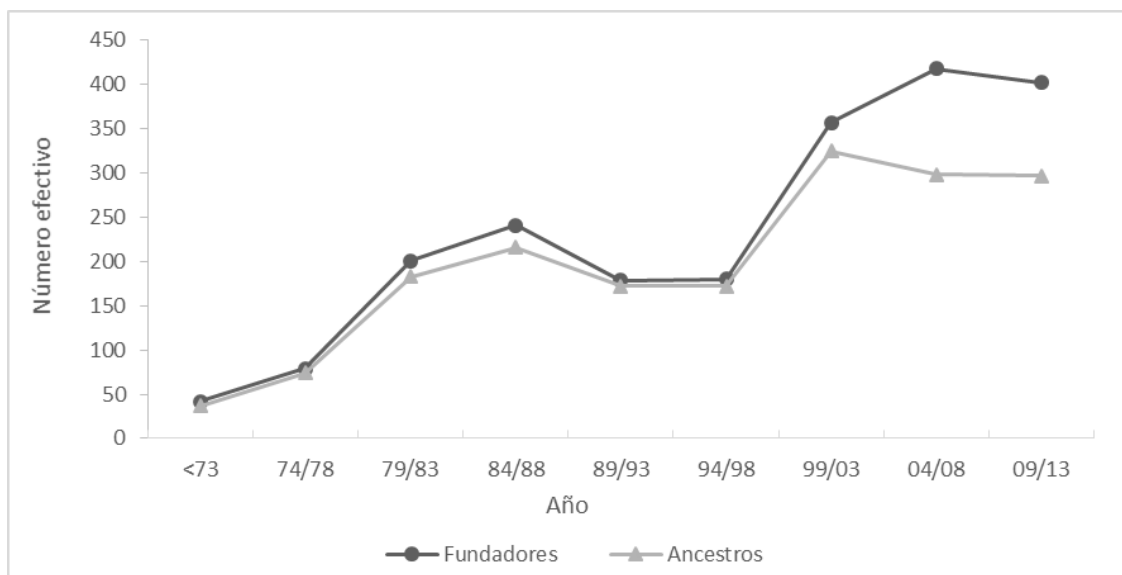


Figura 1.5.- Número efectivo de fundadores y ancestros por año de nacimiento en el caballo Hispano-Árabe, mostrados en intervalos de 5 años.

El análisis de las contribuciones de los diferentes grupos genéticos de los animales fundadores (Figura 1.6) muestra que, durante los primeros períodos existe un claro predominio de los genes procedentes del Hispano-Árabe, con contribuciones muy

pequeñas de los demás grupos genéticos. Sin embargo, a medida que se avanza en el tiempo se evidencia un patrón opuesto, siendo los genes del Pura Raza Español y Pura Raza Árabe los que tienden a ser los más predominantes desde la década de los 90 y manteniendo esta tendencia hasta la actualidad. Además, se observa como el grupo genético correspondiente al Registro Auxiliar muestra un incremento moderado en los últimos 5 años, llegando a sobrepasar a los genes originarios del grupo Hispano-Árabe.

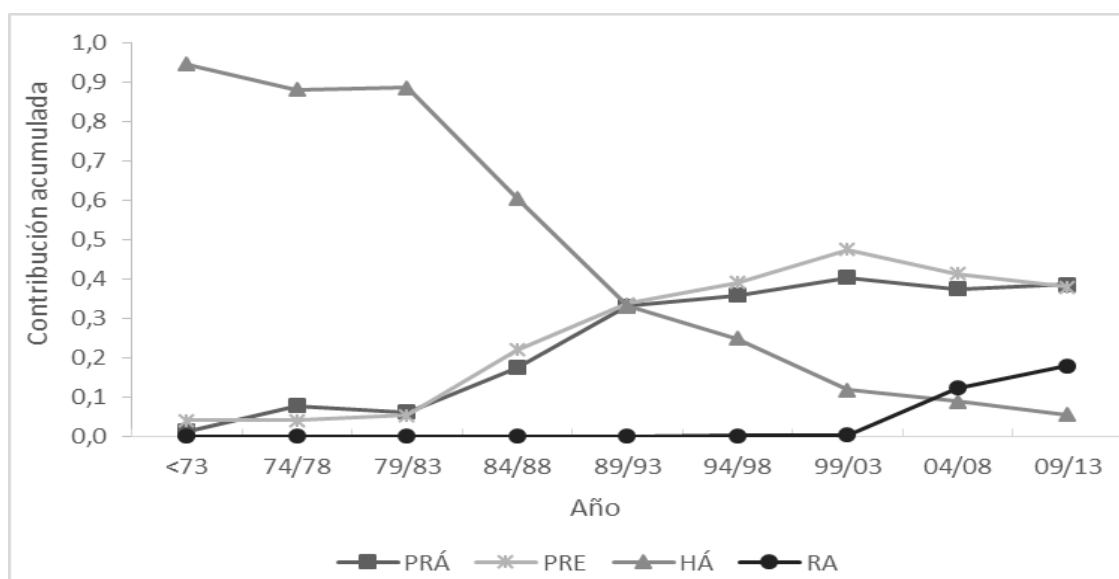


Figura 1.6.- Contribución genética de los diferentes grupos genéticos (PRÁ = Pura Raza Árabe; PRE = Pura Raza Española; HÁ = Hispano-Árabe; RA = Registro Auxiliar) en el pool genético, mostrados en intervalos de 5 años.

Las mayores contribuciones genéticas de un escaso número de fundadores y ancestros se debe en gran medida al uso intensivo de algunos reproductores populares entre los ganaderos y que han ido progresivamente tomando importancia en el pool genético del caballo Hispano-Árabe (**Figura 1.7**). Por ejemplo, el fundador predominante en la raza HÁ (Insensata 50%), nacida en 1976, tiene una contribución correspondiente a 0,3% del pool genético en el período 1984-1988 y cerca de 1% en 2009-2013. Respecto a las contribuciones de las razas PRE y PRÁ observamos como el semental Baal en el período 1987-1988 contribuía con cerca de 0,2%, y en el último período 2009-2013 su importancia en el pool genético de la raza Hispano-Árabe es destacable, con cerca de 1% de contribución. Por otra parte, los 4 fundadores HÁ más influyentes incrementaron su contribución desde 1,4% (1984-1988) a cerca de 2 % en el último periodo de tiempo. Y

por último, los 5 fundadores PRE y PRÁ más influyentes en el pool genético actual del caballo Hispano-Árabe aumentaron su contribución de 2,6% en 1984-1988 a 4,7% en 2009-2013.

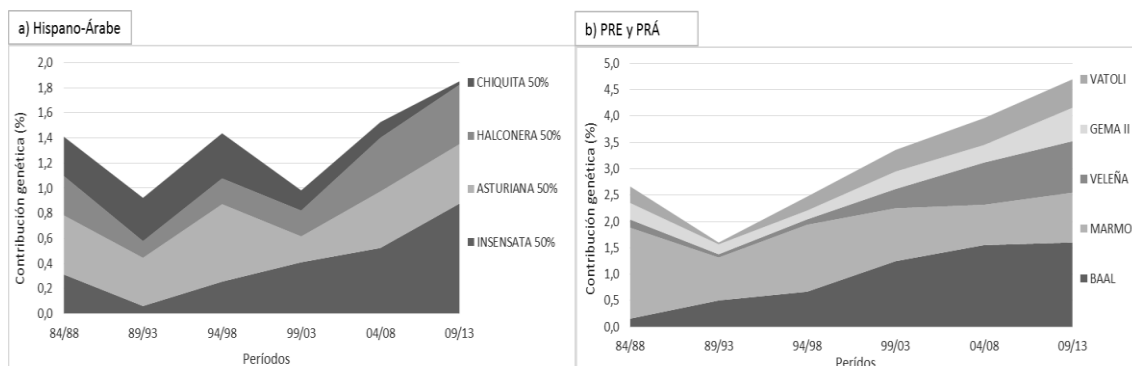


Figura 1.7.- Evolución de la contribución genética de los fundadores más influyentes a) Hispano-Árabe y b) Pura Raza Español (PRE) y Pura Raza Árabe (PRÁ) en los últimos 30 años, en períodos de 5 años.

Respecto a la evolución de la endogamia (**Figura 1.8**) se observa un incremento constante en el tiempo, a partir de un valor medio del 0,24% para los animales nacidos entre 1988 y el año 2004, a un promedio del 0,28% en los animales nacidos en los últimos diez años. Sin embargo, a lo largo de los años, la proporción de animales endogámicos fue descendiendo de manera constante (**Figura 1.8**), de modo que sólo un 1,5% de los animales nacidos entre el año 2005 y 2014 tenían algún nivel de endogamia.

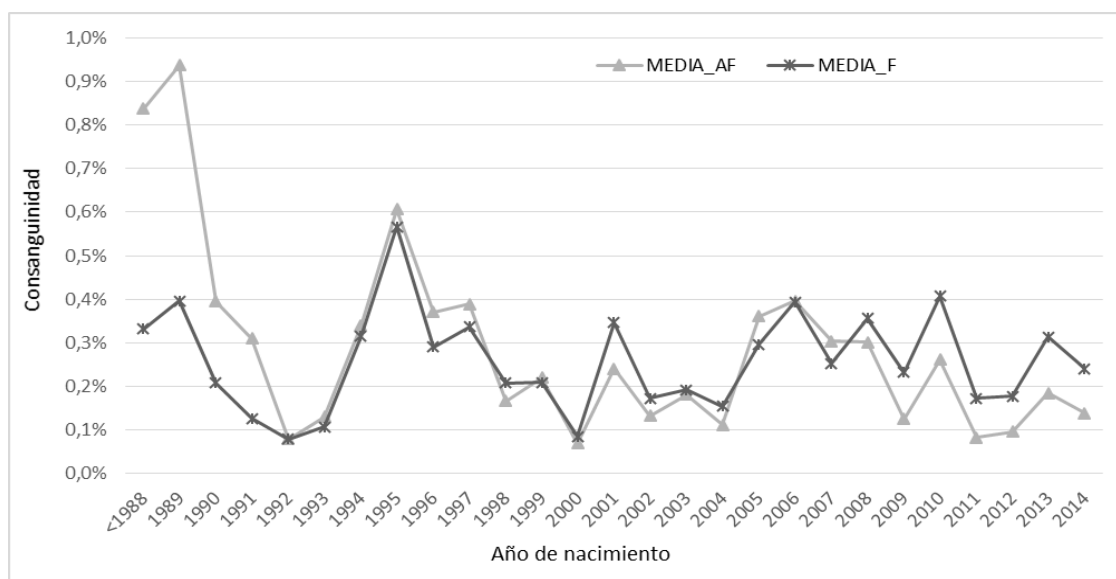


Figura 1.8.- Evolución del porcentaje medio de la consanguinidad e incremento medio por año de nacimiento en toda la población del caballo Hispano-Árabe (1988-2014).

Como se ilustra en la **Figura 1.9**, en la población de referencia, la media de consanguinidad encontrada por ganadería osciló entre 0,01% y 0,3%. Se halló que un 96% de las ganaderías fueron no consanguíneas (610 ganaderías) y que tan solo un 4% (24 ganaderías) mostraron cierto nivel de consanguinidad.

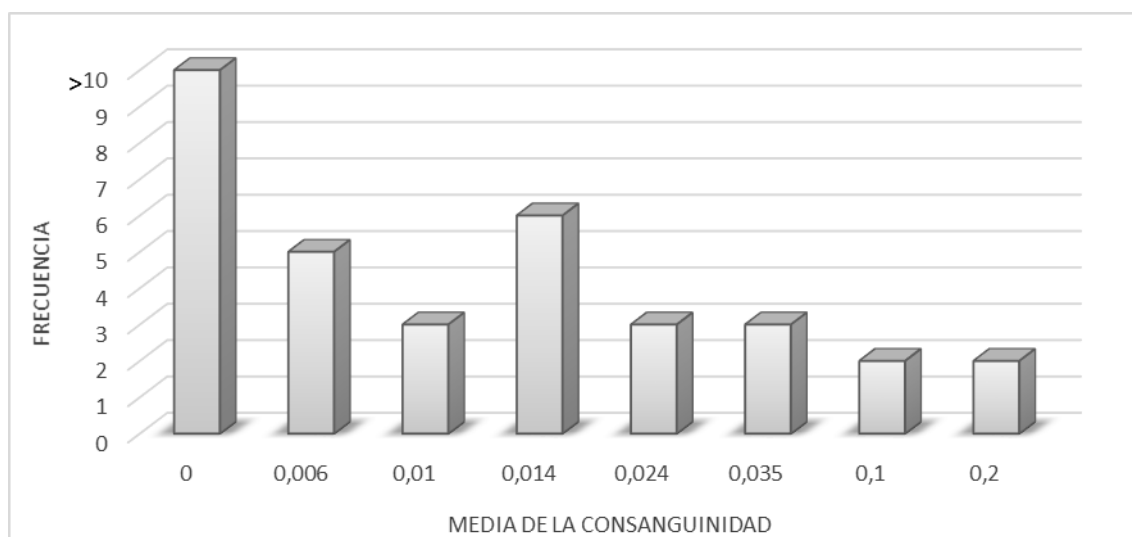


Figura 1.9.- Porcentaje medio de la consanguinidad por ganaderías en la población de referencia del caballo Hispano-Árabe.

El porcentaje medio de endogamia en la población de referencia se situó en el 0,26%. La relación de parentesco promedio en toda la población fue de 0,09, mientras que para la población de referencia se obtuvo un valor más alto de 0,17. A partir de la tasa anual de la endogamia y el intervalo generacional medio, la tasa estimada de incremento de consanguinidad por generación fue del 0,63% en la población total. El tamaño efectivo obtenido siguiendo la metodología de Falconer y Mackay (1996) fue de 79 y de 112 utilizando la de Gutiérrez y cols. (2009), ambas cifras referidas a la población total (**Tabla 1.5**). El Ne^b calculado para la población de referencia fue 94, mientras que el calculado según Falconer y Mackay (1996) tenían un valor negativo, debido a una disminución en el coeficiente de consanguinidad en la última generación.

Tabla 1.5.- Valores de los principales parámetros de endogamia encontrados en el caballo Hispano-Árabe.

Ítem	Población total (n=12017)	Población de referencia (n=2014)
F, %	0,23±0,02	0,26±0,02
AR, %	0,09±0,01	0,17±0,01
ΔF, %	0,24±0,03	0,15±0,02
ΔF/año, %	0,06	-
ΔF/generación, %	0,63	-
Ne ^a	79	-
Ne ^b	112	94

^aSegún Falconer y Mackay (1996).

^bSegún Gutiérrez y cols.(2009).

1.5.- DISCUSIÓN

Dentro de la cabaña equina española el caballo Hispano-Árabe tiene una trayectoria considerable desde el punto de vista de su desarrollo desde su creación, con información del pedigrí que se remonta hasta hace más de medio siglo, con más de 3 generaciones trazadas para animales nacidos entre 1981 y 2014 en estado activo en el Libro Genealógico (**Tabla 1.1**). Esto proporciona una cantidad considerable de información para estudiar la evolución de la diversidad genética y los factores que puedan afectar la estabilidad genética de la raza.

El número de animales inscritos en el L.G. aumentó constantemente después del año 2000, teniendo su mayor repunte a partir del año en que se dio inicio el programa de mejora (2008), y como consecuencia, la raza ha ido adquiriendo popularidad dentro del sector equino como caballo de ocio y alcanzando gran éxito en diversas disciplinas ecuestres (Doma Vaquera, Concurso Completo o Raid), (**Figura 1.1**).

Actualmente, el L.G del caballo Hispano-Árabe tiene una población censada con un estado actual activo de unas 3.318 yeguas y 3.132 sementales, lo que supone un volumen suficiente para enfrentar un programa de selección con garantías. Este censo poblacional es comparable a la raza Lipizzan, con cerca de 3.000 yeguas (Curik y cols., 2003) y 5.000 yeguas en el Lusitano (Vicente y cols., 2012), pero dobla en censo al caballo Menorquín con 3.735 registrados en el L.G. (Solé y cols., 2014). Sin embargo, es mucho más pequeño

si lo comparamos al Pura Raza Español con alrededor de 60 mil animales registrados (Azor, 2009), o el Pura Raza Árabe con un censo de más de 15.000 individuos registrados en España (Magrama, 2014).

La pirámide de edades nos indica que la raza HÁ tiene un porcentaje alto de animales jóvenes y en edad óptima para la reproducción (**Figura 1.2**). Se aprecia una expansión de censos en los últimos seis años, resultado demostrado con el incremento del número de machos y hembras inscritos en el L.G. Además, se observa una elevada longevidad disponiendo animales activos con más de diez años (24% de la población activa).

De estos resultados, se deduce que la estructura de la población representada por la pirámide de edades puede considerarse equilibrada. El ratio sexual encontrado, de 1/1,15, es una cifra muy baja en caballos si lo comparamos con otras razas que presentan una proporción mayor (Hamann y Distl, 2008; Vicente y cols., 2009). Esta cifra demuestra la intensa expansión de la raza con la utilización de la monta dirigida o inseminación artificial, un manejo reproductivo que influye en la reducción significativa del ratio sexual.

La **Tabla 1.1** y **Figura 1.3** muestran el nivel de completitud del pedigrí para todas las generaciones encontradas en ambas poblaciones estudiadas. La integridad del pedigrí indica una disminución pronunciada a partir de la segunda generación, que es seguido por una constante pérdida de información genealógica hasta la quinta generación. Sin embargo, la profundidad del pedigrí en la población de referencia tuvo un mejor comportamiento respecto a la total. Esta disminución en la profundidad del pedigrí puede estar atribuida a la falta de información de muchos ejemplares fundadores y/o ancestros pertenecientes a las razas fundadoras, lo que provoca disponer de un pedigrí poco profundo.

El escenario anterior también se ve reflejado en los resultados de las generaciones trazadas (**Tabla 1.1**). El número de generaciones completas equivalentes representan la profundidad pedigrí y va a variar dependiendo de la raza y la gestión que se ha llevado en su L.G. Sin embargo, se encontraron resultados comparables a lo hallado en este estudio,

como lo descrito en el caballo Brasileiro de Hipismo (1,72; Medeiros y cols., 2014), o ligeramente superior a lo presentado por Solé y cols. (2014) en el caballo Menorquín (3,19). No obstante, también se han reportado resultados superiores a los obtenidos en este estudio, como en el Pura Raza Árabe Español (7,9; Cervantes y cols., 2008b); el Lusitano (11,20; Vicente y cols., 2012); el Pura Sangre de Hungría (15,64; Bokor y cols., 2013), el caballo de Arnés Holandés (10; Schurink y cols., 2012) o el caballo Sorraia (6,14; Pinheiro y cols., 2013). El nivel de integridad del pedigrí en el caballo HÁ es bastante aceptable, especialmente cuando se trata de una raza fruto de un cruce y la información genealógica de las razas parentales es conocida pero no disponible para el presente estudio.

La especie equina es una de las más longevas y por lo tanto la vida reproductiva es tardía y en este caso puede empezar a los 4 años de edad. Van der Werf (2000), expuso que el intervalo generacional es la edad media de los progenitores cuando sus primeros nietos han nacido. La edad promedio hallada en el HÁ indica que la descendencia por lo general nace cuando la yegua tiene, en promedio, 10 años, pero es llamativo observar la elevada desviación estándar de este resultado, por lo que es posible encontrar yeguas que han tenido su primera cría a los 6 años. Resultados equivalentes se encontraron en los sementales, teniendo su primera descendencia a la edad promedio de 9 años (**Tabla 1.2**). Desde el punto de vista de los intervalos de generación calculados para la raza, se pueden definir consistentes con los reportados por otras razas equinas con pedigrís más profundos. Y por lo general se admite que los intervalos generacionales en los caballos sean largos como lo sugieren Strom y Philipsson (1978).

Los intervalos generacionales encontrados en el caballo HÁ son comparables con los reportados previamente por Bokor y cols., (2013) en el Pura Sangre de Hungría, con una edad promedio de 9,7 años en los sementales y 10,78 para las yeguas cuando sus primeros descendientes han nacido; lo mismo sucede en el caballo Brasileiro de Hipismo con una edad de los padres de 11,52 años cuando ha nacido su primera cría (Medeiros y cols., 2014). Sin embargo, muy lejos están estas cifras a las referenciadas en otras razas equinas, tal es el caso del caballo Lusitano (Vicente y cols., 2012), donde las hembras tenían su primera descendencia a la edad media de 5,5 años, mientras que los machos

fue mucho más tardía (2 años más). Asimismo, Pinheiro y cols., (2013) en el caballo de Sorraia registró una edad promedio de 8,39 años para la edad de los padres al nacimiento de su descendencia.

Estas pequeñas diferencias encontradas entre sexos son habituales y son causadas principalmente por el uso productivo que se da dependiendo del género; tanto los machos como las hembras deben pasar una inspección rigurosa por un panel de jueces que los califica por su conformación y aires básicos. Por lo tanto, esto implica que los ejemplares deben ser entrenados antes de su inscripción y esto tiene consecuencias obvias para retrasar el inicio de su carrera reproductiva. Además, los sementales a menudo entran a la reproducción después de haber sido utilizados por varios años en actividades ecuestres, mientras que las yeguas se utilizan con frecuencia sólo para la cría. En consecuencia, a todo lo expuesto, los resultados de la distribución de la edad media para los sementales son ligeramente mayores.

Por otro lado, en cuanto al intervalo de generación hallado en el HÁ se puede considerar que está dentro del rango normal de la especie, con una media global para las cuatro vías de selección de 9,58 años (**Tabla 1.3**). Sin embargo, esta tendencia está en consonancia con la mostrada por otras razas equinas, así, encontramos resultados similares en el Pura Raza Española, con un intervalo medio de 10,11 años (Valera y cols., 2005), Hanoveriano (10 años; Hamann y Distl, 2008), Caballo Árabe de España (10,1–12,0 años; Cervantes y cols., 2009), Lusitano (10,3 años; Vicente y cols., 2012) y Brasileiro de Hipismo (10,82 años; Medeiros y cols. 2014).

Los largos intervalos de generación reportados en la especie equina dependen básicamente de su uso productivo. Al respecto de esto, nos encontramos con muchos ejemplares Hispano-Árabes que se encuentran participando en diferentes disciplinas ecuestres (Doma Vaquera, Raid, Concurso completo), y por lo tanto, no son compatibles con el inicio del ciclo reproductivo. Además, la situación económica actual ha provocado que los ganaderos mantengan sus caballos para uso deportivo o recreativo, siempre que sea posible y el comienzo de su vida reproductiva tiende a retrasarse con respecto a otras

razas equinas, influyendo así en el tiempo para seleccionar un individuo para la reproducción, o lo que es lo mismo la presión selectiva se ve afectada.

El análisis de la probabilidad del origen de los genes están representados por la estimación del número de fundadores, ancestros, f_e , f_a , f_g , el número de antepasados que explican el 50% de la variación genética y la diversidad genética encontrada en las ganaderías (**Tabla 1.4**). Según Boichard y cols. (1997) tales parámetros son menos sensibles a la medida del pedigrí que los coeficientes de consanguinidad y el N_e estimados por el aumento individual de la consanguinidad. Igualmente, Vicente y cols., (2012) informaron que a menudo se prefiere el uso de un número efectivo (f_e , f_a) más que el número de fundadores, ya que corresponde al número equivalente de fundadores que generaría la misma diversidad genética como la observada en la población estudiada, si todas tuvieran la misma contribución. La posible pérdida de alelos fundadores es revelada a través de las diferencias encontradas entre los parámetros de f_e y f_a . Boichard y cols. (1997) indicaron que el ratio entre ambos (f_e/f_a) debe ser cercano a 1 para considerar que una población no ha sufrido importantes cuellos de botella. Respecto a esta afirmación, la proporción encontrada en el caballo HÁ (1,35) nos confirma, por un lado, que la raza no ha sufrido ningún cuello de botella en algún momento desde su creación, y por otro, que la diversidad genética se mantiene y el número de efectivos fundadores y ancestros no ha sufrido un drástico descenso. Resultados en línea, a lo descrito por Medeiros y cols., (2014), en el caballo Brasileiro de Hipismo. Sin embargo, una proporción mucho más alta se encontró en el caballo Hannoveriano donde la pérdida de diversidad genética se atribuyó a la selección (Hamann y Distl, 2008). Ratios $f_e/f_a > 1$ también fueron hallados en el caballo Lusitano (Vicente y cols., 2012) y el Pura Sangre de Hungría (Bokor y cols., 2013) como consecuencia que las poblaciones estaban fuertemente influenciadas por el efecto cuello de botella. La estimación del ratio entre los fundadores y ancestros, o el número equivalentes de genomas fundadores eran los esperados en el caballo Hispano-Árabe, y son principalmente causado por mantener el libro genealógico abierto y por lo tanto, la inclusión permanente de nuevos genes repercute directamente a la diversidad genética de la raza.

Por otro lado, en la **Figura 1.4** queda reflejada la contribución genética acumulada de los fundadores y ancestros en la población de referencia, lo que indica claramente una fuerte influencia de un reducido número de fundadores y ancestros en la raza Hispano-Árabe. Esto se demuestra por el hecho de que tan solo un centenar de fundadores representan el 30% de la reserva genética. Patrón similar aconteció con la contribución de las ganaderías, siendo únicamente 3 ganaderías las mayores contribuyentes (22%) y 7 el número de ganaderías que suministran bisabuelos. Si tuviéramos en cuenta sólo la contribución de los fundadores a la reserva genética (1.839 individuos), podríamos pensar que la población está representada de una manera equilibrada si lo comparamos con otras razas con pedigrís más profundos, sin embargo la información de la contribución genética acumulada apunta hacia el uso intensivo de algunos individuos específicos en la raza del caballo Hispano-Árabe, cuyo efecto se mantiene durante varias generaciones.

Ante este escenario, se sugiere el uso de las técnicas tradicionales utilizadas para planificar apareamientos con el objetivo de desequilibrar la descendencia de los padres hacia aquellos con un nivel más bajo de representación genética en la población, consiguiendo de esta manera ampliar el número de contribuyentes a la variabilidad genética de la raza.

Adicionalmente, estos resultados nos indican que un núcleo de selección se ha desarrollado en la raza, y que las ganaderías han sido influenciadas por la selección practicada en este núcleo (Carolino y Gama, 2008).

La importancia que ha ido adquiriendo el caballo Hispano-Árabe desde su creación ha evolucionado muy positivamente a lo largo de los años, y sus censos, como el número efectivo de fundadores y ancestros, reflejan esos cambios. En el último período 2009-2014 el número de animales registrados en el libro genealógico fue de 2000. Hoy en día, el funcionamiento del libro genealógico permite inscribir animales procedentes de diferentes cruces (HÁ/PRE; HÁ/PRÁ; HÁ/RA), y por esta particularidad era necesario estudiar la contribución genética que ejercen los diferentes grupos genéticos al pool genético actual del caballo Hispano-Árabe. El análisis de la estructura poblacional basada

en la información del pedigrí ha sido ampliamente utilizado para caracterizar genéticamente las poblaciones equinas (Schurink y cols., 2012; Vicente y cols., 2012; Pinheiro y cols., 2013; Delgado y cols., 2014), y ahora es común usar como herramientas en la gestión de la diversidad genética de especies ganaderas (FAO, 2013).

En nuestro trabajo, analizamos la información disponible en el pedigrí y los resultados, y lo que reflejan es la evolución de las tendencias en las políticas de cruzamientos y las decisiones consiguientes adoptadas por los ganaderos. La contribución del HÁ (**Figura 1.6**) hasta la década de los ochenta tiene una importancia muy relevante, pero este resultado es lógico ya que son los aportes de los verdaderos fundadores de la raza. Pero, a pesar de mostrar este comportamiento positivo en las primeras etapas desde su creación, el patrón es el opuesto a medida que avanzamos en el tiempo, siendo hoy en día el grupo genético que menos contribuye al pool genético de su propia raza. Estos resultados nos sugieren que se deben tomar medidas urgentes para cambiar esta tendencia y que los aportes del Pura Raza Hispano-Árabe se incrementen.

La situación ha sido muy diferente para los grupos PRE y PRÁ, que han desempeñado un papel importante en la creación de la raza Hispano-Árabe y, por lo tanto, han ido adquiriendo popularidad desde los inicios hasta la actualidad. Es evidente la evolución positiva que han tenido durante el período analizado, siendo en la actualidad los contribuyentes mayoritarios al pool genético del caballo Hispano-Árabe. El grupo genético PRE fue el más popular desde los años 1994/1998 y manteniéndose hasta el año 2008, pero a partir de entonces parece ser que el PRÁ está ganando popularidad entre los ganaderos.

En cualquier caso, este comportamiento se mantendrá mientras siga abierto el libro genealógico. Y por lo tanto, se espera que la integración continua de nuevos híbridos altere por un lado, de manera beneficiosa en el aumento de la variabilidad genética en la población pero por otro, resulta menos beneficiosa en la profundidad del pedigrí que resulta escasa, o niveles endogámicos sesgados.

Dicho esto, sabemos que el nivel absoluto de la endogamia depende en gran medida de la calidad del pedigrí y su profundidad (Zechner y cols., 2002; Valera y cols., 2005; Druml y cols., 2009). En consecuencia, la tasa de endogamia parece ser el parámetro más adecuado para juzgar la diversidad genética dentro de una raza (Schurink y cols., 2012). El promedio de la consanguinidad (F) computada en la población de referencia de la raza Hispano-Árabe (0,26%) fue baja respecto a otros estudios de la literatura: un 27% hallado en el caballo de Sorraia (Pinheiro y cols., 2013), 11,34% presentó el Lusitano (Vicente y cols., 2012), 8,48% el Pura Raza Español (Valera y cols., 2005), o lo descrito por Cervantes y cols. (2008b) en el Pura Raza Árabe (5,2%).

Sin embargo, los resultados encontrados en nuestro estudio van en línea con lo reportado por Haman y Distl (2008) en ejemplares Hannoverianos ($F=1,3\%$), y mucho más cercanos con los descritos en el caballo German Paint (0,31%; Siderits y cols., 2013). Tal tendencia en el comportamiento de la consanguinidad en el tiempo también se ilustra en la **Figura 1.5**. Esta gráfica nos sugiere diferentes períodos en la evolución de la F y ΔF , observándose un comportamiento irregular en los primeros años, presentando los niveles de endogamia más altos en los años correspondientes a su creación (1950 a 1989); a continuación, se observa un pequeño incremento entre los años 1990 a 1995, y a partir del año 1996 tienden a estabilizarse. Este comportamiento se justifica por el hecho de que en esta última década el manejo zootécnico y la puesta en marcha del programa de mejora establecido en la raza HÁ han influido directamente en estos resultados.

La comparación de estos coeficientes medios de endogamia con los de otras razas equinas nos sugieren que son más bien bajos. No obstante, a pesar de estos buenos resultados la baja profundidad o integridad del pedigrí deben tenerse en cuenta a la hora de sacar conclusiones. Por consiguiente, los resultados en cuanto a la situación de la consanguinidad en el caballo HÁ deben ser interpretados con cautela; en primer lugar, a la falta de información de ancestros y fundadores de la raza; y en segundo lugar a la continua entrada de nuevos híbridos HÁ en el Registro de Nacimientos del L.G.

El parentesco medio de un individuo es un parámetro más a tener en cuenta para determinar el nivel endogámico en una población. En línea con los resultados anteriores se encontró un coeficiente medio de parentesco bajo en la población de referencia ($AR=0,17\%$). El uso de los coeficientes AR puede ser una alternativa o complemento de los valores de F para conservar la composición genética de la población. En este sentido, se sugiere el uso preferencial de los individuos reproductivos con los coeficientes más bajos de AR con el objetivo de equilibrar la contribución de los fundadores HÁ a nivel de población, siempre que sus valores genéticos en el programa de gestión genética lo justifiquen.

Respecto a los hallazgos descritos en otras razas equinas, se encontraron cifras poco comparables con las del HÁ, como lo descrito por Cervantes y cols., (2008b) en el caballo Árabe Español (11,6%), o el 12,25% del Pura Raza Español (Valera y cols., 2005), y tan sólo un 3,76% fue encontrado por Gutiérrez y cols. (2005) en el burro catalán. Mientras, en la raza Sorraia todos los caballos tuvieron valores AR igual o superior al 50%, con un promedio de 55,11% (Pinheiro y cols., 2013).

La consanguinidad media y el parentesco medio encontrado en el Hispano-Árabe parecen reflejar el buen manejo zootécnico realizado por los criadores, evitando apareamientos entre individuos muy emparentados. Además, con la inclusión permanente de nuevos híbridos al L.G. hacen que el aumento de la consanguinidad en las yegudas y por lo tanto en la población sea bajo y controlado.

La tasa de endogamia por año y por generación ($\Delta F/año$; $\Delta F/generación$) en el HÁ fueron relativamente bajos cuando se considera toda la población (menos del 0,1%/año); sin embargo, en la población de referencia (animales nacidos entre 2009-2013) estos valores resultaron negativos, posiblemente a consecuencia de la introducción permanente de nuevos reproductores externos en la población produciendo con ello una disminución del coeficiente endogámico individual en la última generación. Sin embargo, este leve incremento en la población total puede ser motivado, por un lado, a la utilización masiva de algunos ejemplares destacados de la raza y que tiene como consecuencia la aparición de muchos descendientes de un grupo reducido de

reproductores. De cualquier manera, en la población Hispano-Árabe no se aprecia que exista o haya existido una mala gestión de los reproductores hasta el momento, ni que vaya a existir peligro de pérdida drástica de diversidad genética en las siguientes generaciones.

Haciendo una comparativa con otras razas, vemos como en el caballo de Silla Francés (Moureaux y cols., 1996), el Lipizano (Zechner y cols., 2002) o el caballo de tiro Francés (Verrier y cols., 2010) el aumento de la consanguinidad por generación fue 0,0028, 0,004, 0,0138, respectivamente. Valores bajos y, por lo tanto, similares a los encontrados en el HÁ, al ser en su mayoría pedigrís abiertos como el nuestro. A este respecto, Boichard y cols., (1997) indicaron que la estimación del coeficiente de consanguinidad individual está altamente influenciada por la calidad y la cantidad de la información genealógica, concepto muy importante a tener en cuenta.

En consecuencia con los resultados antes descritos, el N_e en la población de referencia corresponde a 94, lo que nos indica que es un nivel aceptable para mantener la diversidad genética tanto en programas de conservación (FAO, 1998) como en los de selección (Goddard y Smith, 1990). Las estimaciones de N_e basado en incremento individual en la endogamia reflejarían con precisión la historia genética de las poblaciones, es decir, el tamaño de su población fundadora, su política de apareamiento o cuellos de botella ocasionados por uso intensivo de unos cuantos individuos durante el período en el que se conocen las genealogías. Todos estos fenómenos influyen en el árbol genealógico del individuo y, por tanto, se reflejan en el aumento individual de endogamia (Cervantes y cols., 2008a; Gutiérrez y cols., 2009).

Resultados más bajos fueron estimados en el caballo Lusitano, ($N_e=62$; Vicente y cols., 2012), o en el caballo Franches Montagnes ($N_e=62$; Poncet y cols., 2006). Sin embargo, más en línea con el Hispano-Árabe fue lo hallado en el Lipizano ($N_e=102$; Zechner y cols., 2002), el caballo Árabe en España ($N_e=110-135$; Cervantes y cols., 2009), el Noriker Austriaco ($N_e=157$; Druml y cols., 2009) o Hanoveriano ($N_e=372$; Hamann y Distl, 2008). Reducidos tamaños efectivos nos sugieren que

probablemente estén atribuidos a la utilización de gran cantidad de reproductores externos a la raza.

Por último, los resultados de la consanguinidad a nivel de ganaderías nos sugieren que el manejo en la gestión de la endogamia es el correcto y que los ganaderos han prestado especial atención en mantener sus yegudas en los niveles mínimos.

1.6.- CONCLUSIONES


- Los resultados del presente estudio demográfico del caballo Hispano-Árabe permiten resaltar algunos parámetros importantes, para su conservación y mejora. De la pirámide de edades y censos se desprende que la población está equilibrada y con clara vocación de expansión.
- La baja completitud del pedigrí sugiere la existencia de animales con registros genealógicos incompletos, debido principalmente a la no disposición del pedigrí de sus ancestros cuando estos proceden de las razas fundadoras y por lo tanto la raza presenta un pedigrí poco profundo.
- Los intervalos generacionales denotan un retraso del inicio de la vida reproductiva, lo que ralentiza el progreso genético.
- El tamaño efectivo, el origen de los genes, las contribuciones genéticas de los fundadores y ganaderías evidencian un claro mantenimiento de la diversidad genética.
- La influencia de animales HÁ puros fue intensa en la fundación de la raza, pero en generaciones recientes se ha ido incrementando la influencia, primero del PRE y después del PRÁ, e incluso más recientemente hay un repunte de los animales de Registro Auxiliar.
- Cambios en las estrategias de selección y apareamiento deben ser considerados, para asegurar que las contribuciones genéticas de diferentes fundadores y ancestros estén equilibradas con el fin de incrementar el número de contribuyentes a la variabilidad genética en las siguientes generaciones.
- De los demás parámetros demográficos se deduce una adecuada gestión del programa de conservación y mejora de la raza.

1.7.- BIBLIOGRAFÍA

- Azor P.J. (2009) Horse Biodiversity and their Contribution to Rural Development in Spain. In: *60th Annual Meeting of the European Association for Animal Production*. European Association for Animal Production, Barcelona, Spain.
- Bartolomé E., Cervantes I., Valera M. & Gutiérrez J.P. (2011) Influence of foreign breeds on the genetic structure of the Spanish Sport Horse population. *Livestock Science* **142**, 70-9.
- Boichard D., Maignel L. & Verrier E. (1997) The value of using probabilities of gene origin to measure genetic variability in a population. *Genetic Selection Evolution* **29**, 5-23.
- Bokor Á., Jónás D., Ducro B., Nagy I., Bokor J. & Szabari M. (2013) Pedigree analysis of the Hungarian Thoroughbred population. *Livestock Science* **151**, 1-10.
- Carolino N. & Gama L.T. (2008) Indicators of genetic erosion in an endangered population: The Alentejana cattle breed in Portugal. *Journal of Animal Science* **86**, 47-56.
- Cervantes I., Goyache F., Molina A., Valera M. & Gutierrez J.P. (2008a) Application of individual increase in inbreeding to estimate realized effective sizes from real pedigrees. *Journal of Animal Breeding and Genetics* **125**, 301-10.
- Cervantes I., Molina A., Goyache F., Gutiérrez J.P. & Valera M. (2008b) Population history and genetic variability in the Spanish Arab Horse assessed via pedigree analysis. *Livestock Science* **113**, 24-33.
- Cervantes I., Gutiérrez J.P., Molina A., Goyache F. & Valera M. (2009) Genealogical analyses in open populations: the case of three Arab-derived Spanish horse breeds. *Journal of Animal Breeding and Genetics* **126**, 335-47.
- Curik I., Zechner P., Sölkner J., Achmann R., Bodo I., Dovc P., Kavar T., Marti E. & Brem G. (2003) Inbreeding, Microsatellite Heterozygosity, and Morphological Traits in Lipizzan Horses. *Journal of Heredity* **94**, 125-32.
- Delgado J.F., De Andrés N., Valera M., Gutiérrez J.P. & Cervantes I. (2014) Assessment of population structure depending on breeding objectives in Spanish Arabian horse by genealogical and molecular information. *Livestock Science* **168**, 9-16.
- Druml T., Baumung R. & Solkner J. (2009) Pedigree analysis in the Austrian Noriker draught horse: genetic diversity and the impact of breeding for coat colour on population structure. *Journal of Animal Breeding and Genetic* **126**, 348-56.
- Falconer D.S. & Mackay T.F.C. (1996) *Introduction to quantitative genetics, 4th ed.* Longmans Sci. and tech., Harlow, Essex, UK.
- FAO (1998) Secondary guidelines for the national farm animal genetic resources management plans: management of small populations at risk. (ed. by FAO), Rome, Italy.
- FAO (2013) In vivo conservation of animal genetic resources. In: *FAO Animal Production and Health Guidelines*. FAO, Rome, Italy.
- Gama L.T. (2002) Melhoramento Genético Animal. In: (Escolar Editora, Lisboa, Portugal.
- Głazewska I. & Jezierski T. (2004) Pedigree analysis of Polish Arabian horses based on founder contributions. *Livestock Production Science* **90**, 293-8.
- Goddard M.G. & Smith C. (1990) Optimum number of bull sires in dairycattle breeding. *Journal Dairy Science* **73**, 1113-22.

- Gómez M., León J.M. & Delgado J.V. (2011) Análisis demográfico de la raza equina Hispano-Árabe. *Archivos de Zootecnia* **60**, 341-4.
- Goyache F., Gutiérrez J.P., Fernández I., Gómez E., Alvarez I., Díez J. & Royo L.J. (2003) Using pedigree information to monitor genetic variability of endangered populations: the Xalda sheep breed of Asturias as an example. *Journal of Animal Breeding and Genetics* **120**, 95–105.
- Gutiérrez J., Altarriba J., Diaz C., Quintanilla R., Cañon J. & Piedrafita J. (2003) Pedigree analysis of eight Spanish beef cattle breeds. *Genetics Selection Evolution* **35**, 43 - 63.
- Gutiérrez J.P. & Goyache F. (2005) A note on ENDOG: a computer program for analysing pedigree information. *Journal of Animal Breeding and Genetics* **122**, 172-6.
- Gutiérrez J.P., Marmi J., Goyache F. & Jordana J. (2005) Pedigree information reveals moderate to high levels of inbreeding and a weak population structure in the endangered Catalanian donkey breed. *Journal of Animal Breeding and Genetics* **122**, 378-86.
- Gutiérrez J.P., Cervantes I. & Goyache F. (2009) Improving the estimation of realised effective population sizes in farm animals. *Journal of Animal Breeding and Genetics* **126**, 327–32.
- Hamann H. & Distl O. (2008) Genetic variability in Hanoverian warmblood horses using pedigree analysis. *Journal Animal Science* **86**, 1503-13.
- James J.W. (1972) Computation of genetic contributions from pedigrees. *Theoretical and Applied Genetics* **42**, 272–3.
- Lacy R.C. (1989) Analysis of founder representations in pedigrees: Founder equivalents and founder genome equivalents. *Zoo Biology* **8**, 111-23.
- León J.M., Lozano J.M., Martínez E., Martínez A., Cabello A., Camacho M.E., Delgado J.V., Quiroz J. & Cañón J. (2005) Análisis demográfico de la cabra Granadina como base para el desarrollo de su Esquema de Selección. *Archivos de Zootecnia* **54**, 311-5.
- Magrama (2014) El caballo de Pura Raza Árabe. <http://aplicaciones.magrama.es/arca-webapp/flujos.html? flowId=razaCaballar-flow& flowExecutionKey=e6s1>.
- Maignel L., Boichard D. & Verrier E. (1996) Genetic variability of French dairy breeds estimated from pedigree information. *Interbull Bull* **54**, 49-54.
- Medeiros B.R., Bertoli C.D., Garbade P. & McManus C.M. (2014) Brazilian Sport Horse: pedigree analysis of the Brasileiro de Hipismo breed. *Italian Journal of Animal Science* **13**, 657-64.
- Meuwissen T.I. & Luo Z. (1992) Computing inbreeding coefficients in large populations. *Genetic Selection Evolution* **24**, 305-13.
- Moureaux S., Verrier É., Ricard A. & Mériaux J.C. (1996) Genetic variability within French race and riding horse breeds from genealogical data and blood marker polymorphisms. *Genetics Selection Evolution* **28**, 83-102.
- Pinheiro M., Kjöllnerström H.J. & Oom M.M. (2013) Genetic diversity and demographic structure of the endangered Sorraia horse breed assessed through pedigree analysis. *Livestock Science* **152**, 1-10.
- Poncet P.A., Pfister W., Muntwyler J., Glowatzki-Mullis M.L. & Gaillard C. (2006) Analysis of pedigree and conformation data to explain genetic variability of the horse breed Franches-Montagnes. *Journal of Animal Breeding and Genetics* **123**, 114-21.

- Saínz R., García J.A., Argüello S.d., Barquín F., Crespo M.J., Chomón N., Calderón L.A. & Cañón J. (2011) Estructura genética de la raza Tudanca inferida de información genealógica. *Archivos de Zootecnia* **60**, 401-4.
- SAS I. (2009) What's New in SAS® 9. 2. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Schurink A., Arts D.J.G. & Ducro B.J. (2012) Genetic diversity in the Dutch harness horse population using pedigree analysis. *Livestock Science* **143**, 270-7.
- Siderits M., Baumung R. & Fuerst-Waltl B. (2013) Pedigree analysis in the German Paint Horse: Genetic variability and the influence of pedigree quality. *Livestock Science* **151**, 152-7.
- Solé M., Cervantes I., Gutiérrez J.P., Gómez M.D. & Valera M. (2014) Estimation of genetic parameters for morphological and functional traits in a Menorca horse population. *Spanish Journal of Agricultural Research* **12**, 125-32.
- Sölkner J., Filipcic L. & Hampshire N. (1998) Genetic variability of populations and similarity of subpopulations in Austrian cattle breeds determined by analysis of pedigrees. *Animal Science* **67**, 249-56.
- Ström H. & Philipsson J. (1978) Relative importance of performance tests and progeny tests in horse breeding. *Livestock Production Science* **5**, 303-12.
- Valera M., Molina A., Gutiérrez J.P., Gómez J. & Goyache F. (2005) Pedigree analysis in the Andalusian horse: population structure, genetic variability and influence of the Carthusian strain. *Livestock Production Science* **95**, 57-66.
- Van der Werf J.H.J. (2000) Livestock straight breeding system structures for the sustainable intensification of extensive grazing systems. In: Workshop on developing breeding strategies for lower input animal production environments. In: (Ed. S. Galal, J. Boyazoglu e K. Hammond) (pp. 105-78. ICAR Technical Series.
- Verrier E., Leroy G., Blouin C., Mériaux J.C., Rognon X. & Hospital F. (2010) Estimating the effective size of farm animals populations from pedigree or molecular data: a case study on two French draught horse breeds. In: *Proceedings of the 9th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production:1-6 August 2010, Leipzig, Germany*. Communication 0198 (CD-ROM).
- Vicente A., Carolino N. & Gama L.T. (2009) Indicadores demográficos no cavalo Lusitano. *Archivos de Zootecnia* **58**, 501-4.
- Vicente A.A., Carolino N. & Gama L.T. (2012) Genetic diversity in the Lusitano horse breed assessed by pedigree analysis. *Livestock Science* **148**, 16-25.
- Wright S. (1922) Coefficients of inbreeding and relationship. *Amer Nat* **56**, 330-8.
- Wright S. (1931) Evolution in mendelian populations. *Genetics* **16**, 97-159.
- Zechner P., Sölkner J., Bodo I., Druml T., Baumung R., Achmann R., Marti E., Habe F. & Brem G. (2002) Analysis of diversity and population structure in the Lipizzan horse breed based on pedigree information. *Livestock Production Science* **77**, 137-46.



Capítulo II: ANÁLISIS DE EFECTOS FIJOS SOBRE LOS CARACTERES DE CONFORMACIÓN Y MOVIMIENTOS

2.1.- RESUMEN

En este capítulo se analiza la influencia de los efectos no genéticos que tienen influencia sobre los caracteres de conformación (armonía) y movilidad (paso, trote y galope) en el caballo Hispano-Árabe. Los datos utilizados han sido obtenidos directamente del programa de control funcional de la raza. Se utilizaron diferentes procedimientos estadísticos para analizar los registros de conformación y movilidad recogidos en 901 caballos Hispano-Árabes, durante un período de 14 años, disponiéndose de 3.184, 3.357, 3.356 y 3.060 observaciones para el carácter armonía, paso, trote y galope, respectivamente. Se utilizó un modelo de Análisis de la Varianza multifactorial de efectos fijos para determinar la influencia de la ganadería, grupo de manejo, sexo, año de calificación, época, tipo de prueba, niveles de sangre, edad de calificación y juez. A continuación, se plantearon una serie de modelos univariados de análisis de la varianza de efectos fijos. Para cada uno de los modelos resueltos se obtuvo el coeficiente de determinación (R^2) para ser utilizado como criterio cuantitativo para evaluar los efectos simples de los factores, al ser un indicador de la intensidad del efecto del único factor incluido en el modelo. Los resultados mostraron que la armonía como los movimientos presentan unas medias aceptables y acordes con lo encontrado en otras razas nacionales e internacionales. El efecto de la ganadería, el juez y el tipo de prueba explican la mayor proporción de la varianza. Los resultados encontrados respecto al coeficiente de determinación indican una adecuada definición del modelo de análisis en cada una de las variables estudiadas, explicando la mayor varianza debida a factores no genéticos. Estos resultados, han sido determinantes para optimizar la estructura de los modelos genéticos a utilizar en la estimación de parámetros genéticos y valores de cría de los caracteres armonía, paso, trote y galope. Caracteres que están siendo seleccionados en el programa de cría del caballo Hispano-Árabe y por lo tanto, ofrece enormes posibilidades para avanzar aún más en los trabajos de mejora genética de la raza.

Palabras clave: Movimientos, conformación, efectos fijos, análisis de la varianza, caballo.

SUMMARY

This chapter has analyzed the consequence of the non-genetic effects that have an influence on the characteristics of conformation (harmony) and mobility (step, trot and gallop) belonging to the Hispano-Arabe Horse. The data used has been directly obtained from the breed's functional control program. Different statistical procedures were applied to analyze the conformation and mobility records recollected from 901 Hispano-Arabe Horses covering a period of 14 years, delivering respectively 3.184, 3.357, 3.356 and 3.060 observations for harmony, step, trot and gallop characteristics. A multifactorial analysis of variance model of fixed effects was used to determine the influence of stud, managed group, sex, rating year, season, test type, blood level, rating age and judge. Next, a series of univariate analysis of variance models of fixed effects were tested. Each model resolved delivered a coefficient of determination (R^2) used as a quantitative criterion to evaluate the simple factor's effects, consequently resulting in an intensity effect indicator of the sole factor included in the model. Results disclosed acceptable harmony and movement mean values in line with those established for other national and international horse breeds. The stud effect, the judge and the test type explained most of the variance proportion. Results with respect to the coefficient of determination indicated that the models analyzed had been properly defined for each of the variables studied, explaining most of the variance due to non-genetic factors. These results have allowed to optimize the genetic models' structures to estimate the genetic parameters and breeding values of the characteristics harmony, step, trot and gallop. Characters which are currently being selected for in the Hispano-Arabe horse breeding program, offering therefore enormous possibilities to further advance in the breeding work and genetic improvement of the breed.

Keywords: Movements, Conformation, Fixed Effects, Analysis of Variance, Horse.

2.2.- INTRODUCCIÓN

El caballo Hispano-Árabe (en adelante HÁ), es una raza formada en España desde hace más de dos siglos. Originalmente, el HÁ fue creado con la intención de contar con una raza de trabajo y deporte adecuada a las necesidades de la época (Delgado y cols., 2005). Hoy en día, está reconocida oficialmente como una raza autóctona de protección especial. Sin embargo, actualmente los objetivos de mejora del HÁ son distintos, siendo los elegidos, la mejora de los caracteres conformacionales (armonía), caracteres de movimiento (paso, trote y galope) y caracteres funcionales (Doma Vaquera) (Delgado y cols., 2012). El objetivo en razas de caballos deportivos es utilizar la mejora para producir caballos que sean versátiles y que muestren un buen rendimiento, carácter, movimientos, fuerza y salud (Suomen-Hippos 2004).

A partir del año 2009 entró en pleno funcionamiento el Programa de Mejora de la raza, y por lo tanto se empezó a actualizar toda la información fenotípica producida hasta y desde entonces. La información generada es importante para la implementación eficaz del modelo animal (Sanders y cols., 2006). Se precisa disponer de tres fuentes de información indispensables: primero son los datos fenotípicos; segundo, las circunstancias en que se han generado esos datos y, tercero, deben conocerse las relaciones genealógicas entre los individuos que forman la población. Una vez que se dispone de toda esta información, se realizan diferentes pruebas estadísticas para ajustar los modelos. Muchos estudios referentes a la estimación de parámetros genéticos y posteriores evaluaciones genéticas realizan como paso previo un estudio de los efectos fijos que afectan a las variables, con el fin de perfilar los modelos genéticos (Gerber Olsson y cols., 2000; Ducro y cols., 2007; Viklund y cols., 2008; Barazandeh y cols., 2012).

Además, los caracteres incluidos en los objetivos de mejora, como criterios de selección, están influenciados por genotipos y factores ambientales, y por ello son conocidos como caracteres cuantitativos (Arnason y Van Vleck 2000). La teoría convencional de los programas de mejora vienen asumidos como modelos infinitesimales, desarrollados por Fisher hace más de 80 años y que está ilustrado por los siguientes puntos: primero, los caracteres cuantitativos de interés económico están controlados por los efectos de un infinito número de genes; segundo, los efectos de cada

gen es infinitamente pequeño y es igual para todos los genes; y tercero, los efectos ambientales son distribuidos aleatoriamente y son independientes de los genes y sus efectos.

Por lo tanto, conocer la magnitud del efecto de los factores no genéticos en las variables tiene una importancia relevante. Sin embargo, el problema se agrava cuando se tienen en cuenta un elevado número de factores y las complejas interacciones que se establecen entre ellos, de forma que es muy difícil determinar el peso relativo de cada factor (Iloeje y cols., 1980; Gootwine y Pollott 2000).

Gómez y cols. (2006) ya destacaron en el caballo Pura Raza Española, la influencia de los factores externos relacionados con el animal (ganadería de origen, sexo y edad) y con la prueba (concurso, año de celebración y juez) que influyen sobre las puntuaciones recibidas. Entre los factores no genéticos más relevantes se encuentra la ganadería de origen siendo el efecto que posee el mayor porcentaje de la varianza fenotípica explicada (Gómez y cols., 2006). Por otro lado, se encuentra el efecto del juez siendo considerado un factor determinante en la puntuación. Según Holmström y cols. (1990), la valoración es llevada a cabo de manera subjetiva y condicionada por la experiencia de los jueces. Mientras, Preisinger y cols. (1991) informó que los jueces tuvieron el mayor efecto en la puntuación en comparación con otros efectos no genéticos.

Todos estos factores ya han sido estudiados ampliamente en otras razas equinas, demostrando ser estadísticamente significativos sobre los resultados fenotípicos (Arnason 1984; Suontama y cols., 2009; Becker y cols., 2011; Suontama 2012). En la actualidad parece haberse fijado un grupo de factores no genéticos más comunes que se encuentran en los distintos programas, formados principalmente por el año de juzgamiento, edad de juzgamiento, época y juez del juzgamiento, considerados como los de mayor efecto sobre los caracteres vinculados a la conformación y movimientos (Stock y Distl 2007; Viklund y cols., 2011; Stewart y cols., 2012; Vicente y cols., 2014).

Por todo esto, los resultados de las pruebas celebradas son una importante fuente de información que debe ser analizada, con el objetivo de determinar los factores no

genéticos que afectan directamente la puntuación de los animales. Por consiguiente, antes de realizar la estimación de parámetros genéticos y posterior evaluación genética, debe abordarse como primer paso la determinación del mejor modelo que se ajuste al tipo de datos disponibles, un modelo que estime la mayor variabilidad debida a factores ambientales o factores no genéticos conocidos y de esto se ocupa el presente capítulo.

2.3.- MATERIAL Y MÉTODOS

2.3.1.- Descripción de los datos

La Unión Española de Ganaderos de Pura Raza Hispano – Árabe (en adelante, UEGHá), organiza varios concursos morfológicos y funcionales celebrados anualmente en todo el territorio español. Los registros fenotípicos disponibles en el Libro Genealógico (L.G.) del caballo Hispano – Árabe han sido proporcionados para la realización de este estudio.

En el presente análisis de efectos fijos se dispuso de un archivo productivo compuesto de 12.957 registros, correspondientes a un total de 901 animales. Todos ellos recopilados durante un periodo de 14 años, comprendidos entre el año 2000 y 2014 (año 2003 sin observaciones).

Los caracteres analizados fueron la armonía, medido como un carácter de conformación y los aires paso, trote y galope como caracteres de movimiento. La distribución de las observaciones fue la siguiente: 3.184 registros para el carácter armonía, 3.357 registros para el carácter paso, 3.356 registros para el carácter trote y 3.060 para el carácter galope. El número de ganaderías incluidas en el estudio fue de 263, ganaderías que pertenecen al núcleo selectivo de la raza.

Para este estudio, los factores de variación incluidos se definen de la siguiente manera:

- Ganadería de origen.- Se refiere a todos los animales que forman parte de una misma ganadería y que, por tanto, están sometidos a las mismas condiciones de

- manejo y experimentan los mismos acontecimientos de alimentación, sanidad y manejo (Analla 1996).
- Grupo de manejo (GM). - Representa a grupos de manejo establecidos en función del nivel productivo de cada ganadería, fundamentalmente basado en su rendimiento funcional en cada uno de los caracteres evaluados.
 - Sexo. - A este factor se le atribuyen las diferencias entre machos y hembras encontradas en las pruebas morfológicas y funcionales. Al producir un efecto sobre las variables en estudio se considera un factor ambiental (Suontama y cols., 2009).
 - Año de calificación. - Corresponde al año en que tiene lugar la calificación de los animales. Se pueden encontrar diferencias entre grupos de animales que han sido calificados en diferentes años, o diferencias dentro de un mismo animal entre sus registros correspondientes a años distintos. Además, estas diferencias pueden deberse a las condiciones ambientales, al tipo de manejo, salud, etc. (Analla y cols., 1995).
 - Época de calificación. - Se refiere a la época del año en la que han sido evaluados los animales. Sus diferencias pueden deberse principalmente a los cambios climatológicos que puedan afectar directamente al rendimiento de los animales. Estas diferencias presentan una cierta periodicidad de modo que se repitan en las mismas épocas o estaciones entre los distintos años (Valls 1977).
 - Tipo de prueba. - Corresponde a tres tipos de pruebas, primero los registros que provienen de las valoraciones oficiales realizadas por la UEGHá; segundo los registros que provienen de los concursos morfológicos; y tercero, los registros que provienen de las Pruebas de Selección de Caballos Jóvenes (en adelante, PSCJ). Las posibles diferencias son atribuidas principalmente a los diferentes ambientes a los que son sometidos los animales durante su calificación (Aparicio 1997; Fernández y cols., 1998; Viklund y cols., 2008).
 - Niveles de sangre. - Este factor se entiende como las proporciones genéticas referidas a la raza Árabe. Esta particularidad puede conllevar algunas diferencias en la estimación de los parámetros genéticos con respecto a una raza procedente de un solo grupo genético debido a los efectos de dominancia. Los valores de cría pueden estar sobrevalorados por el fenómeno de la heterosis (Ducro y cols., 2007).

- Edad de calificación.- Entendiéndose como la edad del animal cuando éste ha sido evaluado, originándose diferencias en el rendimiento de acuerdo a la edad del animal (Jakubec y cols., 1999; Gómez y cols., 2006).
- Juez. - Se refiere al equipo de jueces que otorga las puntuaciones a los animales cuando éstos son evaluados. Se pueden encontrar diferencias en los registros de un mismo animal cuando éste ha sido evaluado por distintos jueces. Del mismo modo, pueden hallarse diferencias en un grupo de animales evaluados por un solo juez (Valera y cols., 2005; Suontama y cols., 2009). Debido a la existencia de un gran número de jueces con menos de 25 observaciones, se procedió a formar un nuevo grupo de jueces conformados por aquellos que no alcanzaban este número mínimo.

Los animales son calificados por un equipo de jueces que evalúan tres tipos de caracteres: 7 rasgos morfológicos (6 de regiones corporales y 1 de armonía general) y 3 caracteres para los movimientos básicos (paso, trote y galope). Por otro lado, existe una ficha de calificación diseñada para las Pruebas de Selección de Caballos Jóvenes, en la que se registra el carácter funcional para la Doma Vaquera. De todos estos caracteres evaluados en cada prueba, los caracteres utilizados para este estudio son la armonía, paso, trote y galope.

Cada una de estas notas han sido recogidas en una escala numérica que oscila de 1 (muy malo) a 10 (muy bueno). Sin embargo, los jueces hacen uso de una escala estrecha (min. =5; máx.=10), en caso que existiera una puntuación baja (1 a 3 puntos) el animal no cumpliría los requerimientos básicos para realizar la prueba y por lo tanto sería descalificado.

En el momento de la evaluación, los animales se agrupan en diferentes secciones en función del sexo y edad, por ejemplo: sección primera, corresponde a potras de 1 año de edad; sección segunda, potros de 1 año de edad, así sucesivamente hasta la sección octava que corresponde a los sementales mayores de 4 años.

2.3.2.- Análisis estadísticos

Para el desarrollo del estudio de los efectos fijos, se siguieron tres etapas de análisis, tal como se describen a continuación:

a) Estadística Descriptiva.

Se han calculado los estadísticos descriptivos de tendencia central y dispersivos para los registros de los caracteres armonía, paso, trote y galope. Los cálculos fueron llevados a cabo con la aplicación estadística PROC.MEANS del paquete estadístico SAS en su versión 9.2 (SAS 2009).

b) Análisis multifactorial de efectos fijos.

La influencia de los efectos fijos sobre el rendimiento del carácter conformacional armonía y los caracteres de movimiento, paso, trote y galope en el caballo Hispano – Árabe, fueron analizados mediante un análisis de la varianza multifactorial de los efectos fijos, teniendo en cuenta los efectos de la ganadería de origen, grupos de manejo, sexo, año de valoración, época de valoración, tipo de prueba, niveles de sangre, edad de la valoración y juez, efectos coincidentes con los propuestos por otros autores (Janssens y Vandepitte 2004).

El análisis multifactorial de efectos fijos se realizó con el siguiente modelo:

$$Y_{ijklmnopq} = \mu + G_i + GM_j + S_k + A_l + E_m + TP_n + NS_o + EV_p + J_q + \epsilon_{ijklmnopq}$$

Donde:

$Y_{ijklmnopq}$: corresponde a las observaciones de las variables dependientes del carácter armonía, paso, trote y galope.

μ : media de la población en el rendimiento del carácter armonía, paso, trote y galope.

G_i = efecto fijo de la ganadería de origen, con 263 niveles.

GM_j = efecto fijo del grupo de manejo, con 17 niveles.

S_k = efecto fijo del sexo del animal, 2 niveles (macho y hembra).

A_l = efecto fijo del año con 14 niveles (2000 - 2014).

E_m = efecto fijo de la época en la que ha sido calificado el animal, con 4 niveles (primavera, verano, otoño e invierno).

TP_n : efecto fijo del tipo de prueba con 3 niveles (valoraciones: 952 observaciones (en adelante obs.), concursos morfológicos: 2081 obs. y PSCJ: 477 obs.).

NS_o : efecto fijo de los niveles de sangre, con 32 niveles.

EV_p : efecto fijo de la edad en la que el animal ha sido evaluado, con 21 niveles.

J_q : efecto fijo del juez con 33 niveles.

$\epsilon_{ijklmnopq}$: error residual.

La solución del análisis multifactorial de la varianza de los efectos fijos se obtuvo a través de un Modelo Lineal General, utilizando para ello la subrutina PROC.GLM del paquete estadístico SAS en su versión 9.2 (SAS 2009).

A continuación, se realizó el test de Duncan para diferenciar las medias “a posteriori” entre los distintos niveles de los factores estudiados y que fueron significativos. El test de Duncan es muy efectivo en detectar diferencias entre medias, cuando diferencias reales existen (Suárez y cols., 2002; Carballo y Moreno 2006; Gemiyo y cols., 2014).

c) Análisis univariados de efectos fijos.

Por último, se realizaron varios análisis univariados de aquellos efectos fijos que resultaron significativos en el análisis multifactorial.

Resultando el modelo simple univariado expresado de la siguiente manera:

$$Y_{ij} = \mu + EF_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : corresponde a las observaciones del animal “i” bajo el efecto simple del factor “j”.

μ : Media de la población para cada variable (armonía, paso, trote y galope).

EF_i: Efecto fijo del factor en estudio.

ϵ_{ij} : Error residual.

A la vez, se obtuvo el coeficiente de determinación (R^2) para cada uno de los modelos resueltos. El R^2 , es una medida descriptiva que sirve para evaluar la bondad de ajuste del modelo a los datos, se define como el cociente entre la variabilidad explicada por la regresión y la variabilidad total. Singh y cols. (1970) corroboraron esta afirmación, para quienes la proporción de la varianza total explicada por un modelo simple era un fiel indicador de la intensidad del efecto del único factor incluido en el modelo.

2.4.- RESULTADOS

2.4.1.- Estadísticos descriptivos.

2.4.1.1. Armonía

En la **Tabla 2.1** se observan los estadísticos generales para la armonía, donde se aprecia la media general de 7,08 puntos (en adelante, pts.) y lo más destacable un bajo coeficiente de variación (9,45%), lo que indica una alta homogeneidad en sus puntuaciones.

Por otro lado, hay que destacar los valores mínimos encontrados en los resultados, lo que demuestran que a pesar de disponer una escala de evaluación de 1 a 10 los jueces otorgan un mínimo de 5 puntos.

Tabla 2.1.- Estadísticos descriptivos para el carácter de conformación “armonía” en la raza equina Hispano – Árabe.

Variable	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
ARMONIA	3184	7,08	0,67	0,01	9,45	4	5	9

El comportamiento del rendimiento del carácter armonía en función de los Grupos de Manejo (**Tabla 2.2**), demostró que las mayores puntuaciones otorgadas las encontramos en el grupo de manejo 10 y 14, con 7,42 puntos y 7,30 puntos, respectivamente. Además, de forma general se observa bajos coeficientes de variación

en los distintos grupos, encontrando valores entre 7,66% a 12,64% lo que indica una homogeneidad de las puntuaciones en las distintas agrupaciones.

Tabla 2.2.- Estadísticos descriptivos para el carácter de conformación “armonía” en función del Grupo de Manejo en la raza equina Hispano – Árabe.

GM	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
1	28	6,71	0,51	0,10	7,66	1,5	6	7,5
2	72	6,75	0,57	0,07	8,48	2,5	6	8,5
3	95	6,84	0,62	0,06	9,00	3,1	5	8,1
4	142	6,80	0,56	0,05	8,30	3	5	8
5	228	6,94	0,59	0,04	8,55	3,5	5,5	9
6	301	6,97	0,70	0,04	10,08	4	5	9
7	594	7,16	0,72	0,03	10,10	4	5	9
8	335	7,19	0,66	0,04	9,14	4	5	9
9	67	7,13	0,66	0,08	9,25	3	6	9
10	37	7,42	0,72	0,12	9,76	3	6	9
11	11	6,95	0,88	0,27	12,64	2,5	6	8,5
12	59	6,75	0,62	0,08	9,23	3	6	9
13	417	7,02	0,65	0,03	9,19	4	5	9
14	287	7,30	0,59	0,03	8,05	3	6	9
15	286	7,22	0,64	0,04	8,91	3,5	5,5	9
16	140	7,26	0,59	0,05	8,17	3	6	9
17	85	7,09	0,67	0,07	9,45	3,5	5,5	9

En la **Figura 2.1** se observa una representación gráfica del rendimiento del carácter armonía en el total de las ganaderías estudiadas, dónde se destaca una evidente normalidad y que la máxima frecuencia de observaciones por ganaderías se situó en los 7 puntos, lo que supone el 26% de las ganaderías estudiadas. En segundo lugar, respecto a la frecuencia de observaciones por ganadería se ubicó la puntuación correspondiente a los 6,5 puntos, llegando a representar el 24%. A continuación, se encontró las puntuaciones correspondientes a los 6 y 7,5 puntos, representando cada una el 17% de las ganaderías y la puntuación de 8 puntos con el 10%; finalmente, y con las frecuencias más bajas se encontraron los valores extremos de la escala (5; 5,5; 8,5 y 9 puntos) con apenas el 6% de los ganaderos.

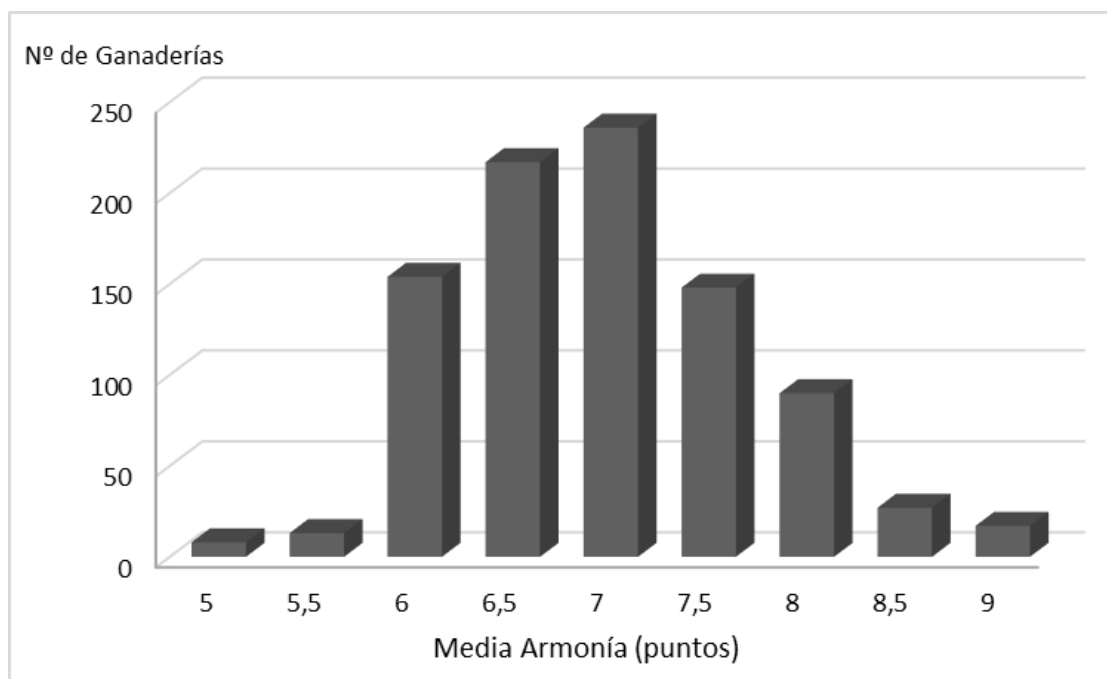


Figura 2.1.- Rendimiento del carácter “armonía” en el total de ganaderías estudiadas.

En la **Tabla 2.3** se recogen los estadísticos básicos para la armonía en función del sexo, encontrando la media más alta para los machos (7,13 pts.) mientras que para las hembras fue ligeramente inferior con 7,05 puntos. Los coeficientes de variación se mantuvieron alrededor del 9% en ambos sexos.

Tabla 2.3.- Estadísticos descriptivos para el carácter de conformación “armonía” en función del sexo en la raza equina Hispano – Árabe.

Sexo	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
Macho	1420	7,13	0,67	0,02	9,40	4	5	9
Hembra	1764	7,05	0,67	0,02	9,46	4	5	9

El comportamiento de la armonía a lo largo de los años evaluados muestra que las mayores puntuaciones obtenidas fueron el año 2004 con una media de 7,38 puntos; si bien el crecimiento constante de observaciones se denota a partir del año 2009, año en el que se inicia formalmente el funcionamiento del programa de mejora de la raza (**Tabla 2.4**).

Cabe aclarar, que el número de observaciones presentes en el año 2014 no son todas las generadas en ese año, la falta de actualización de la información es debida al

cronograma de funcionamiento del programa de mejora de la raza, entendiéndose que para realizar la evaluación genética anual se utiliza la información generada hasta un determinado mes, en el caso del caballo Hispano – Árabe el año productivo está comprendido entre Septiembre y Agosto del año siguiente.

Tabla 2.4.- Estadísticos descriptivos para el carácter de conformación “armonía” en función del año de calificación en la raza equina Hispano – Árabe.

Año	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
2000	15	5,00	0,60	0,03	6,50	3	5	9
2001	25	7,00	0,63	0,04	8,25	4	7	9
2002	33	7,50	0,65	0,03	7,62	3	7,5	9
2004	72	7,38	0,79	0,09	10,75	4	5	9
2005	172	7,12	0,68	0,04	9,54	3	6	9
2006	230	7,07	0,69	0,05	9,69	3	6	9
2007	197	7,10	0,74	0,05	10,40	3	6	9
2008	204	7,29	0,65	0,05	8,91	3	6	9
2009	231	7,00	0,66	0,04	9,42	4	5	9
2010	284	6,99	0,56	0,03	8,07	3,5	5,5	9
2011	446	7,27	0,72	0,03	9,96	3	6	9
2012	527	7,08	0,60	0,03	8,52	4	5	9
2013	463	6,91	0,61	0,03	8,79	4	5	9
2014	285	7,02	0,68	0,04	9,65	4	5	9

Cuando se analiza el rendimiento de los caballos en las distintas épocas del año (Tabla 2.5), se observa que la media de las puntuaciones más alta (7,18 puntos) se encuentra en época de primavera (marzo, abril y mayo); además, esta época junto a la de otoño se concentran la mayoría de pruebas morfológicas y funcionales que celebra la raza durante el año (1.120 y 1.107 registros, respectivamente).

Tabla 2.5.- Estadísticos descriptivos para el carácter de conformación “armonía” en función de la época de calificación en la raza equina Hispano – Árabe.

Época	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
Primavera	1120	7,18	0,69	0,02	9,62	4	5	9
Verano	761	7,00	0,63	0,02	9,03	4	5	9
Otoño	1107	7,07	0,64	0,02	9,06	4	5	9
Invierno	196	6,94	0,77	0,05	11,06	4	5	9

En la **Tabla 2.6** la puntuación otorgada a la armonía en función del tipo de prueba demuestra que las puntuaciones más altas son dadas en los concursos morfológicos (7,18 pts.), a lo que se suma una mayor homogeneidad de las medias al presentar el coeficiente de variación más bajo con 8,66%. Les sigue las puntuaciones correspondientes a las valoraciones con 6,91 pts. y, finalmente las PSCJ con 6,87 pts.

Tabla 2.6.- Estadísticos descriptivos para el carácter de conformación “armonía” en función del tipo de prueba en la raza equina Hispano – Árabe.

Tipo de Prueba	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
Valoración	952	6,91	0,72	0,02	10,49	4	5	9
Concurso Morf.	2081	7,18	0,62	0,01	8,66	4	5	9
PSCJ	151	6,87	0,68	0,06	9,91	3,5	5,5	9

Como puede apreciarse en la **Tabla 2.7**, el porcentaje de sangre más común en el caballo Hispano – Árabe corresponde al 50%, y que viene a estar representado por el 58% de los animales presentes en este estudio. Seguido, del 25% de sangre árabe representado por el 26% de los animales. En tercer lugar, se situó el 62,5% de sangre árabe (8% de los animales), y finalmente, los porcentajes extremos (12,5% y 75%) representaron el 7% de los animales. Adicionalmente, mencionar que las medias generales de las puntuaciones se situaron alrededor 6,92 puntos y mostrando coeficientes de variación al torno del 7%.

Tabla 2.7.- Estadísticos descriptivos para el carácter de conformación “armonía” en función del nivel de sangre en la raza equina Hispano – Árabe.

Nivel de Sangre	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
<12,5%	44	6,74	0,63	0,20	9,01	1	6	8
25%	839	6,83	0,51	0,07	7,44	2	6	8
50%	1849	6,92	0,60	0,10	8,35	1	6	7
62,5%	246	7,03	0,39	0,11	5,39	1	6	8
>75%	206	7,08	0,49	0,16	7,00	2	6	8

Los rendimientos del carácter armonía en función de la edad quedan reflejados en la **Tabla 2.8**, observándose una clara presencia de animales jóvenes en el programa de mejora de la raza, existiendo 2848 observaciones registradas entre las edades comprendidas de 1 a 6 años y empezando a declinar su presencia a partir de los 7 años de edad. Así mismo, se observó que la media más alta se registró a la edad de 14 años (7,30 pts.), y en segundo lugar se ubicó la edad de 7 años con una media de 7,22 pts.

Tabla 2.8.- Estadísticos descriptivos para el carácter de conformación “armonía” en función de la edad de calificación en la raza equina Hispano – Árabe.

Edad (Años)	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
1	427	7,12	0,58	0,03	8,10	4	6	9
2	500	7,12	0,64	0,03	8,92	4	5	9
3	672	7,10	0,67	0,03	9,41	4	5	9
4	693	7,07	0,72	0,03	10,17	4	5	9
5	368	7,04	0,69	0,04	9,84	4	5	9
6	188	7,07	0,70	0,05	9,88	4	5	9
7	73	7,22	0,72	0,08	10,03	4	5	9
8	70	7,16	0,66	0,08	9,16	3	6	9
9	43	6,98	0,70	0,11	9,99	3	6	9
10	45	7,12	0,76	0,11	10,60	3	6	9
11	32	6,84	0,60	0,11	8,75	3	6	8
12	36	6,69	0,57	0,09	8,47	2	6	8
13	19	6,84	0,62	0,14	9,13	2	6	8
14 o más	18	7,30	0,36	0,20	5,02	1	7	8

En la **Tabla 2.9** se observa el comportamiento del carácter armonía en función del juez. De forma general, se observa la presencia de un gran número de jueces que poseen menos de 50 observaciones, mientras que solo un 20% de los jueces están presentes de forma reiterada en las diferentes pruebas morfológicas. En cuanto a las medias, se observa que existe una alta variación entre ellos situación dada por las oscilaciones de los coeficientes de variación, encontrando valores desde 2,82% al 13,28%.

Tabla 2.9.- Estadísticos descriptivos para el carácter de conformación “armonía” en función del juez en la raza equina Hispano – Árabe.

Juez	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
1	8	6,50	0,53	0,19	8,22	1	6	7
2	129	7,12	0,56	0,05	7,81	2	6	8
3	28	7,29	0,73	0,14	9,96	3	6	9
4	15	7,23	0,62	0,16	8,61	3	7	9
5	14	7,49	0,64	0,17	8,59	2	7	9
6	151	7,43	0,68	0,06	9,10	3	6	9
7	25	6,46	0,68	0,14	10,46	4	5	9
8	11	7,50	0,59	0,18	7,89	2	7	9
9	37	7,14	0,95	0,16	13,28	4	5	9
10	262	6,84	0,61	0,04	8,90	4	5	9
11	777	6,79	0,52	0,02	7,73	4	5	9
12	100	7,48	0,46	0,05	6,17	2	6	8
13	213	7,64	0,77	0,05	10,07	3	6	9
14	640	7,12	0,58	0,02	8,19	4	5	9
15	8	6,63	0,52	0,18	7,81	1	6	7
16	119	7,13	0,74	0,07	10,39	3	6	9
17	12	7,67	0,44	0,13	5,79	1	7	8
18	75	7,40	0,55	0,06	7,45	3	6	9
19	8	6,38	0,52	0,18	8,12	1	6	7
20	51	6,55	0,69	0,10	10,61	4	5	9
21	150	7,08	0,61	0,05	8,61	2	6	8
22	120	7,42	0,42	0,04	5,62	2	6	8
23	44	7,49	0,70	0,11	9,39	3	6	9
24	22	7,48	0,55	0,12	7,29	2	7	9
25	48	7,57	0,21	0,03	2,82	1	7	8
26	52	6,79	0,75	0,10	11,05	3	6	9
27	1	7,00	-	-	-	0	7	7
28	1	6,00	-	-	-	0	6	6
29	63	6,88	0,81	0,10	11,71	4	5	9

2.4.1.2. Paso

En la **Tabla 2.10** quedan reflejados los estadísticos descriptivos para el carácter trote, encontrándose un valor medio de 6,78 puntos y que de acuerdo al coeficiente de variación nos indica la homogeneidad de las puntuaciones en esta variable.

Tabla 2.10.- Estadísticos descriptivos para el carácter “paso” en la raza equina Hispano – Árabe.

Variable	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
PASO	3357	6,78	0,69	0,01	10,16	7	4	10

El comportamiento del rendimiento productivo del paso en función de los Grupos de Manejo se muestra en la **Tabla 2.11**. Se encontró que las puntuaciones medias oscilaron entre 6 y 7 puntos y un coeficiente de variación ligeramente más elevado que el encontrado para la armonía (10,42%).

Tabla 2.11.- Estadísticos descriptivos para el carácter “paso” en función del Grupo de Manejo en la raza equina Hispano – Árabe.

GM	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
1	28	6,49	0,48	0,09	7,42	1	6	7
2	72	6,65	0,64	0,08	9,66	2,5	6	8,5
3	96	6,59	0,65	0,07	9,92	5	5	10
4	142	6,70	0,46	0,04	6,83	2	6	8
5	233	6,67	0,55	0,04	8,23	3	5	8
6	305	6,81	0,67	0,04	9,83	5	5	10
7	626	6,89	0,70	0,03	10,12	4	5	9
8	376	6,79	0,79	0,04	11,66	5	4	9
9	74	6,63	0,80	0,09	12,09	3,5	5	8,5
10	41	6,93	1,03	0,16	14,88	5	4	9
11	14	6,07	1,00	0,27	16,43	4,5	4	8,5
12	59	6,61	0,51	0,07	7,76	2	6	8
13	426	6,65	0,55	0,03	8,20	3,5	5	8,5
14	305	6,97	0,59	0,03	8,43	4	5	9
15	310	6,88	0,73	0,04	10,66	4	5	9
16	151	6,81	0,75	0,06	10,99	5	4	9
17	99	6,47	0,91	0,09	14,08	5,5	3	8,5

En la **Figura 2.2** se observa una representación gráfica del rendimiento del movimiento paso en el total de ganaderías estudiadas donde destaca una clara apariencia de normalidad. La máxima frecuencia se ubicó en los 6,5 y 7 puntos, lo que viene a estar representado por el 26% y 24% de las ganaderías estudiadas, respectivamente; a continuación, en tercer lugar se ubicó la puntuación de 6 puntos, representados por el 20% de las ganaderías respectivamente; en cuarto lugar se encontró los 7,5 puntos representados por el 13% de los ganaderos; con el 7% de las ganaderías se situó los 8 puntos; y, finalmente con las frecuencias de ganaderos más bajas se encontraron los puntos extremos (10% de los ganaderos).

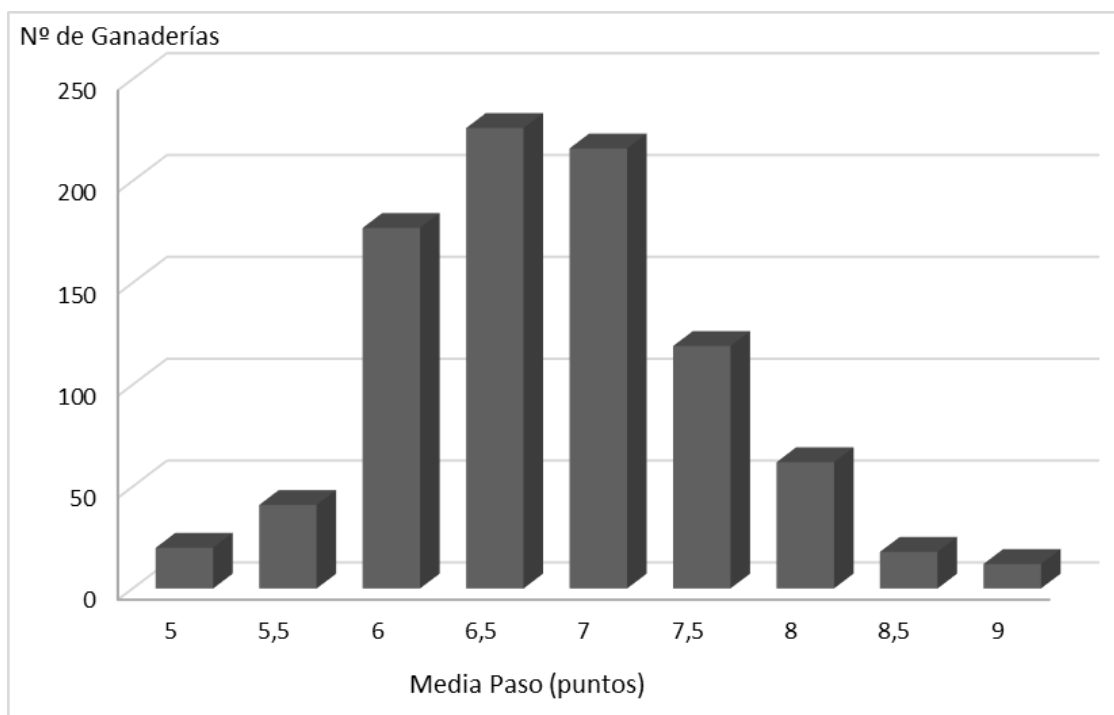


Figura 2.2.- Rendimiento del carácter “paso” en el total de ganaderías estudiadas.

En la **Tabla 2.12**, se aprecia que la media observada en ambos sexos fue similar. Por otro lado, los coeficientes de variación se mantuvieron en un 10% en los dos sexos.

Tabla 2.12.- Estadísticos descriptivos para el carácter “paso” en función del sexo en la raza equina Hispano – Árabe.

Sexo	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
Macho	1527	6,77	0,69	0,02	10,21	6	4	10
Hembra	1830	6,78	0,69	0,02	10,12	7	3	10

El rendimiento del paso a lo largo de los años en que se desarrolló el estudio muestra un similar comportamiento al anterior carácter analizado, observándose unos primeros años testimoniales de puesta a punto de los métodos y un mayor incremento de observaciones a partir del año 2009, y manteniendo unas puntuaciones estables durante este período de tiempo respecto al coeficiente de variación observado (**Tabla 2.13**).

Tabla 2.13.- Estadísticos descriptivos para el carácter “paso” en función del año de calificación en la raza equina Hispano – Árabe.

Año	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
2000	15	7,50	0,63	0,03	6,32	5	5	10
2001	25	7,00	0,61	0,05	9,56	3	6	9
2002	33	7,50	0,65	0,04	7,48	4	5,5	9
2004	72	7,40	0,71	0,08	9,62	3	6	9
2005	172	6,87	0,67	0,04	9,77	4	5	9
2006	230	6,86	0,65	0,04	9,52	3	5,5	8,5
2007	197	6,82	0,67	0,05	9,76	5	5	10
2008	204	6,98	0,59	0,04	8,41	3	6	9
2009	231	6,84	0,60	0,04	8,80	2	6	8
2010	309	6,80	0,60	0,03	8,83	3,5	5	8,5
2011	474	7,00	0,75	0,03	10,75	4	5	9
2012	561	6,68	0,61	0,03	9,08	4,5	4	8,5
2013	523	6,51	0,69	0,03	10,62	5,5	3	8,5
2014	311	6,56	0,68	0,04	10,33	4	5	9

Sobre los resultados mostrados en la **Tabla 2.14**, indicar que el rendimiento del movimiento paso en función de la época muestra el mismo comportamiento a lo encontrado para la armonía. La media más alta se situó en la época de primavera (6,86 pts.); mientras las medias más homogéneas se encontraron en el verano e invierno (C.V.=9,62% y 9,90%, respectivamente).

Tabla 2.14.- Estadísticos descriptivos para el carácter “paso” en función de la época de calificación en la raza equina Hispano – Árabe.

Época	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
Primavera	1162	6,86	0,72	0,02	10,47	6	3	9
Verano	792	6,71	0,65	0,02	9,62	6	4	10
Otoño	1207	6,75	0,68	0,02	10,12	5	4	9
Invierno	196	6,70	0,66	0,05	9,90	5	5	10

Como queda reflejado en la **Tabla 2.15**, el movimiento paso muestra un comportamiento similar al carácter armonía, siendo los concursos morfológicos los que muestran el valor de la media más alta con 6,91 pts., situándose en segundo lugar las valoraciones (6,73 pts.), y, finalmente con la media más baja se situó la información procedente de las PSCJ con 6,05 pts., a lo que se suma una mayor variación en sus puntuaciones al ofrecer el coeficiente de variación más alto (15,34%).

Tabla 2.15.- Estadísticos descriptivos para el carácter “paso” en función del tipo de prueba en la raza equina Hispano – Árabe.

Tipo de Prueba	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
Valoración	952	6,73	0,64	0,02	9,45	5	5	10
Concurso Morf.	2081	6,91	0,59	0,01	8,51	5	5	10
PSCJ	324	6,05	0,93	0,05	15,34	5	3	8

En la **Tabla 2.16** se observa los estadísticos descriptivos para el carácter paso en función de los niveles de sangre. Siguiendo la misma tónica, se observa que el porcentaje de sangre más representativo corresponde al 50%, disponiendo de 1964 observaciones en este nivel, seguido del 25% con 870 observaciones, situándose en tercer lugar el nivel de sangre del 62,5% (260 obs.) y, finalmente los niveles de sangre extremos con 263 observaciones.

Tabla 2.16.- Estadísticos descriptivos para el carácter “paso” en función del nivel de sangre en la raza equina Hispano – Árabe.

Nivel de Sangre	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
<12,5%	46	6,89	0,52	0,14	7,72	2	6	8
25%	870	6,64	0,64	0,14	9,57	3	5	8
50%	1964	6,46	0,42	0,07	6,28	2	6	7
62,50%	260	6,56	0,51	0,15	7,66	1	6	7
>75%	217	6,98	0,44	0,07	6,24	2	6	8

Entre el grupo de edades tempranas encontramos que la media de la puntuación más alta se situó a la edad de 2 años (6,93 pts.) mostrando además un coeficiente de variación bajo (8,91%), lo que expresa una uniformidad de las puntuaciones otorgadas a esta edad. Así mismo, en el grupo de animales reproductores (>7años) se encontró que la edad de 14 años reportó la media más alta (7,13 pts.); sin embargo, por el número de observaciones encontramos como los animales a la edad de 8 años obtuvieron una media aceptable (6,94 pts.) además de presentar un coeficiente de variación bajo (**Tabla 2.17**).

Tabla 2.17.- Estadísticos descriptivos para el carácter “paso” en función de la edad de calificación en la raza equina Hispano – Árabe.

Edad (Años)	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
1	427	6,86	0,56	0,03	8,11	4	5	9
2	500	6,93	0,62	0,03	8,91	4	5	9
3	673	6,89	0,61	0,02	8,84	4	5	9
4	766	6,68	0,74	0,03	11,10	5	4	9
5	438	6,55	0,80	0,04	12,21	7	3	10
6	214	6,63	0,70	0,05	10,52	4,5	4	8,5
7	76	6,95	0,77	0,09	11,03	4	6	10
8	70	6,94	0,69	0,08	9,89	3	5	8
9	43	6,77	0,53	0,08	7,88	2	6	8
10	45	6,94	0,75	0,11	10,88	2,5	6	8,5
11	32	6,83	0,62	0,11	9,10	2,5	6	8,5
12	36	6,42	0,57	0,09	8,84	2,5	5	7,5
13	19	6,58	0,53	0,12	8,12	2	6	8
14 o más	18	7,13	0,32	0,17	4,76	1	6,9	7,4

Los estadísticos globales del paso en función del juez quedan reflejados en la **Tabla 2.18**, siguiendo las mismas pautas que el carácter armonía se aprecia una alta variabilidad de cada juez. Respecto a las medias observadas, destacar que existen cuatro jueces con más de 200 observaciones (10, 11, 13, y 14) y entre ellos el juez número 13 presenta la media más alta; sin embargo, el juez que muestra más homogeneidad en sus puntuaciones es el número 11 presentando un coeficiente de variación bajo (6,78%) respecto a sus compañeros.

Tabla 2.18.- Estadísticos descriptivos para el carácter “paso” en función del juez en la raza equina Hispano – Árabe.

Juez	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
1	8	6,63	0,74	0,26	11,23	2	6	8
2	129	6,97	0,52	0,05	7,44	2	6	8
3	28	6,86	0,59	0,11	8,62	2	6	8
4	15	7,13	0,61	0,16	8,57	2	6	8
5	14	6,84	0,38	0,10	5,52	0,8	6,5	7,3
6	151	7,09	0,65	0,05	9,11	3	6	9
7	25	6,20	0,54	0,11	8,71	2,5	6	8,5
8	11	7,50	0,45	0,13	5,96	1,5	7	8,5
9	37	6,68	0,67	0,11	10,02	3	5	8
10	252	6,67	0,67	0,04	10,06	4	5	9
11	689	6,59	0,45	0,02	6,78	4	5	9
12	100	7,34	0,46	0,05	6,26	2,5	6	8,5
13	204	7,38	0,72	0,05	9,78	3	6	9
14	675	6,74	0,47	0,02	6,93	4,5	4	8,5
15	8	6,75	0,71	0,25	10,48	2	6	8
16	119	6,96	0,65	0,06	9,40	2,5	6	8,5
17	12	6,93	0,46	0,13	6,66	1	6,5	7,5
18	75	7,38	0,65	0,07	8,76	3	6	9
19	8	6,38	0,74	0,26	11,67	2	6	8
20	51	6,42	0,52	0,07	8,15	2	6	8
21	150	6,77	0,60	0,05	8,80	3	5	8
22	120	7,18	0,54	0,05	7,52	4	6	10
23	44	7,10	0,60	0,09	8,40	2,5	6	8,5
24	22	6,93	0,62	0,13	8,99	2,5	5,5	8
25	48	7,55	0,15	0,02	1,95	0,7	7,2	7,9
26	43	6,62	0,75	0,11	11,29	3	5	8
27	128	5,82	0,94	0,08	16,20	4	4	8
28	32	5,91	0,65	0,12	11,06	2	5	7
29	26	5,67	1,06	0,21	18,65	4	3	7
30	45	6,36	0,82	0,12	12,90	4	4	8
31	10	6,40	0,97	0,31	15,10	3	5	8
32	9	6,17	0,90	0,30	14,62	2,5	5	7,5
33	69	6,83	0,75	0,09	10,97	5,1	4,9	10

2.4.1.3. Trote

Los estadísticos descriptivos para el movimiento trote presentes en la **Tabla 2.19** sitúan a este movimiento en el segundo lugar dentro de los cuatro caracteres estudiados con una media de 6,94 pts. Por otro lado, el comportamiento del coeficiente de variación sigue la misma tendencia que los caracteres antes analizados, situándose en 10,84%.

Tabla 2.19.- Estadísticos descriptivos para el carácter "trote" en la raza equina Hispano – Árabe.

Variable	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
TROTE	3356	6,94	0,75	0,01	10,84	6	4	10

La puntuación media del carácter trote en función del grupo de manejo (**Tabla 2.20**) presenta el mismo comportamiento observado en caracteres anteriores. La media más alta la presentó el grupo de manejo 14 (6,97 puntos), además mostró homogeneidad en sus medias respecto al coeficiente de variación observado.

Tabla 2.20.- Estadísticos descriptivos para el carácter "trote" en función del Grupo de Manejo en la raza equina Hispano – Árabe.

GM	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
1	28	6,49	0,48	0,09	7,42	1	6	7
2	72	6,65	0,64	0,08	9,66	2,5	6	8,5
3	96	6,59	0,65	0,07	9,92	5	5	10
4	142	6,70	0,46	0,04	6,83	2	6	8
5	233	6,67	0,55	0,04	8,23	3	5	8
6	305	6,81	0,67	0,04	9,83	5	5	10
7	626	6,89	0,70	0,03	10,12	4	5	9
8	376	6,79	0,79	0,04	11,66	5	4	9
9	74	6,63	0,80	0,09	12,09	3,5	5	8,5
10	41	6,93	1,03	0,16	14,88	5	4	9
11	14	6,07	1,00	0,27	16,43	4,5	4	8,5
12	59	6,61	0,51	0,07	7,76	2	6	8
13	426	6,65	0,55	0,03	8,20	3,5	5	8,5
14	305	6,97	0,59	0,03	8,43	4	5	9
15	310	6,88	0,73	0,04	10,66	4	5	9
16	151	6,81	0,75	0,06	10,99	5	4	9
17	99	6,47	0,91	0,09	14,08	5,5	3	8,5

La representación gráfica del rendimiento del movimiento trote para todas las ganaderías estudiadas quedan reflejadas en la **Figura 2.3**, donde a primera vista se aprecia una mayor normalidad de los registros. Se observa que la máxima frecuencia se sitúa en los 7 puntos, donde se ubica el 25% de los ganaderos; con el 21% de ganaderos se encontró en la puntuación de 6,5 puntos; a continuación, muy de cerca se encontró la puntuación de 6 y 7,5 puntos (19% y 17% de ganaderos, respectivamente); con una representación del 8% de los ganaderos se ubicó en la puntuación de 8 puntos; y en

último lugar, con las frecuencias más bajas se encontró los puntos extremos de la escala de evaluación representando el 10% de los ganaderos estudiados.

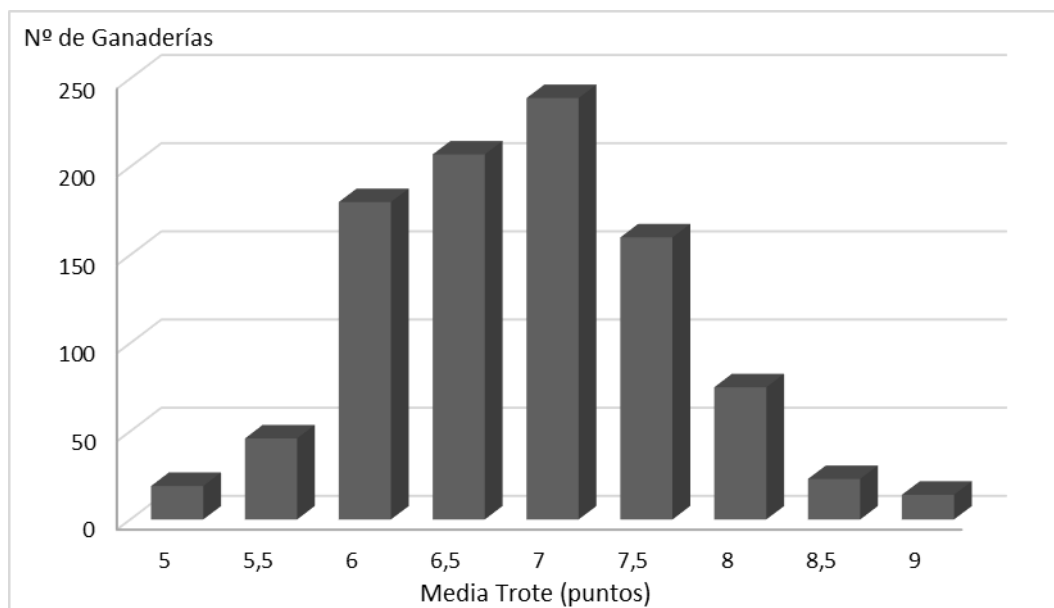


Figura 2.3.- Rendimiento del carácter "trote" en el total de ganaderías estudiadas.

De la **Tabla 2.21** se observa que las medias obtenidas para ambos sexos no muestran diferencias destacables entre ellos, manteniendo una homogeneidad en las puntuaciones para este carácter respecto al coeficiente de variación observado.

Tabla 2.21.- Estadísticos descriptivos para el carácter trote en función del sexo en la raza equina Hispano – Árabe.

Sexo	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
Macho	1526	6,93	0,76	0,02	10,93	6	4	10
Hembra	1830	6,95	0,75	0,02	10,78	6	4	10

Durante los años analizados, el año en que el movimiento trote obtuvo una media más alta en sus puntuaciones fue en el año 2004 con 7,33 pts. (**Tabla 2.22**), mientras que a partir del año 2005 las puntuaciones fueron ligeramente inferiores, entendiéndose que en estos últimos años se está calificando de manera más escrupulosa este carácter. Los tres primeros años fueron de puesta a punto de los métodos, sólo a partir de 2005 se pueden entender los controles como rutinarios.

Tabla 2.22.- Estadísticos descriptivos para el carácter “trote” en función del año de calificación en la raza equina Hispano – Árabe.

Año	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
2000	15	10	0,63	0,04	4,56	3	6	10
2001	25	7	0,65	0,03	6,52	2	6	7
2002	33	8	0,61	0,04	8,42	4	5	8
2004	72	7,33	0,74	0,09	10,13	3	6	9
2005	172	6,97	0,75	0,05	10,80	4	5	9
2006	230	6,91	0,65	0,04	9,45	2	6	8
2007	196	6,94	0,73	0,05	10,47	5	5	10
2008	204	6,94	0,67	0,05	9,68	3	6	9
2009	231	6,93	0,67	0,04	9,68	2,5	6	8,5
2010	309	7,04	0,78	0,04	11,13	4	5	9
2011	474	7,14	0,74	0,03	10,40	4	5	9
2012	561	6,97	0,74	0,03	10,58	5	4	9
2013	523	6,71	0,79	0,03	11,84	4,5	4	8,5
2014	311	6,77	0,71	0,04	10,46	4,5	4	8,5

El comportamiento del trote en función de la época del año sigue las mismas pautas que los caracteres anteriores (**Tabla 2.23**), situándose la época de primavera con la media más alta y además mostrar más similitud en sus medias respecto al coeficiente de variación (10,53%); a continuación, se ubicaron las medias para la época de verano y otoño con una valor medio de 6,93 pts. en cada una, por último y siguiendo el mismo comportamiento que la armonía y el paso se encontró la época del invierno con la media más baja (6,89 pts.).

Tabla 2.23.- Estadísticos descriptivos para el carácter “trote” en función de la época de calificación en la raza equina Hispano – Árabe.

Época	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
Primavera	1162	6,97	0,73	0,02	10,53	5	4	9
Verano	791	6,93	0,70	0,03	10,17	6	4	10
Otoño	1207	6,93	0,79	0,02	11,46	5	4	9
Invierno	196	6,89	0,79	0,06	11,49	4	6	10

El rendimiento del trote en función del tipo de prueba, como se refleja en la **Tabla 2.24**, muestra que las medias obtenidas en los concursos morfológicos son las más elevadas (7,11 pts.) y, además muestra más similitud entre ellas respecto al coeficiente de variación observado (8,83%). A continuación, se sitúa la media para las valoraciones

con 6,87 pts. y con 6,09 pts. las PSCJ, entendiéndose que existe una mayor exigencia para el trote en este tipo de prueba.

Tabla 2.24.- Estadísticos descriptivos para el carácter “trote” en función del tipo de prueba en la raza equina Hispano – Árabe.

Tipo de Prueba	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
Valoración	952	6,87	0,74	0,02	10,81	5	5	10
Concurso Morf.	2080	7,11	0,63	0,01	8,83	5	5	10
PSCJ	324	6,09	0,91	0,05	14,90	4,5	4	8,5

En la **Tabla 2.25** se observa que el nivel de sangre más representativo sigue siendo el 50%, además de forma general se observa que las medias de las puntuaciones otorgadas a este movimiento estuvieron alrededor de los 6,88 puntos y que los porcentajes superiores al 75% presentaron una media levemente más alta. Por otro lado, se observa coeficientes de variación ligeramente más altos respecto a los dos caracteres antes analizados.

Tabla 2.25.- Estadísticos descriptivos para el carácter “trote” en función del nivel de sangre en la raza equina Hispano – Árabe.

Nivel de Sangre	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
<12,5%	46	6,75	0,61	0,16	8,77	2	6	8
25%	870	6,88	0,70	0,16	10,04	3	5	8
50%	1963	6,87	0,69	0,23	10,57	2	6	8
62,50%	260	6,87	0,51	0,14	7,55	1	6	8
>75%	217	7,05	0,75	0,27	10,67	2	6	8

Los estadísticos globales para este movimiento (**Tabla 2.26**), muestran la importante presencia de animales jóvenes (1 a 6 años) en los certámenes morfológicos, sin embargo, sus medias obtenidas son moderadas encontrándose valores entre 6,78 pts. a 7,10 pts. Mientras, los animales de mayor edad obtienen puntuaciones más elevadas (7,32 pts.) respecto a los jóvenes; interpretándose de éste resultado cómo animales adultos ya testados obtienen puntuaciones más elevadas respecto a los animales jóvenes.

Tabla 2.26.- Estadísticos descriptivos para el carácter “trote” en función de la edad de calificación en la raza equina Hispano – Árabe.

Edad (Años)	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
1	427	6,96	0,62	0,03	8,98	4	5	9
2	499	7,10	0,63	0,03	8,89	4	5	9
3	673	7,04	0,64	0,02	9,13	4	5	9
4	766	6,85	0,86	0,03	12,51	5	4	9
5	438	6,78	0,90	0,04	13,33	6	4	10
6	214	6,83	0,77	0,05	11,25	3,5	5	8,5
7	76	7,17	0,75	0,09	10,45	4	6	10
8	70	7,19	0,67	0,08	9,28	3,5	5,5	9
9	43	6,75	0,65	0,10	9,60	2	6	8
10	45	7,06	0,77	0,11	10,84	2,5	6	8,5
11	32	6,87	0,71	0,13	10,35	2,5	6	8,5
12	36	6,65	0,57	0,10	8,64	2	6	8
13	19	6,51	0,58	0,13	8,91	1,5	6	7,5
14 o más	18	7,32	0,29	0,14	4,07	0,5	7,1	7,6

A continuación, en la **Tabla 2.27** se observa el rendimiento del carácter trote en función del juez, y siguiendo el mismo comportamiento que los caracteres anteriores se observa la presencia de cuatro jueces más frecuentes, mostrando una media de 6,93 puntos entre ellos, sin embargo, el juez número 14 es el más homogéneo en dar sus puntuaciones.

Tabla 2.27.- Estadísticos descriptivos para el carácter “trote” en función del juez en la raza equina Hispano – Árabe.

Juez	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
1	8	6,63	0,52	0,18	7,81	1	6	7
2	129	7,20	0,72	0,06	9,97	3	6	9
3	28	6,84	0,65	0,12	9,55	2	6	8
4	15	7,17	0,70	0,18	9,75	2,5	6	8,5
5	14	6,99	0,58	0,15	8,29	2,1	6	8,1
6	151	7,20	0,68	0,06	9,46	3	6	9
7	25	6,36	0,59	0,12	9,22	2,5	6	8,5
8	11	7,32	0,64	0,19	8,79	2,5	6	8,5
9	37	6,68	0,85	0,14	12,76	3	5	8
10	252	6,86	0,74	0,05	10,81	4	5	9
11	689	6,99	0,66	0,03	9,49	3,5	5,5	9
12	100	7,37	0,55	0,06	7,50	3,5	5	8,5
13	204	7,24	0,72	0,05	9,97	3	6	9
14	675	6,95	0,55	0,02	7,94	4,5	4	8,5
15	8	6,75	0,46	0,16	6,86	1	6	7
16	119	7,05	0,74	0,07	10,46	3	6	9
17	12	6,98	0,60	0,17	8,63	2	6	8
18	75	7,22	0,69	0,08	9,54	3	6	9
19	8	6,38	0,52	0,18	8,12	1	6	7
20	51	6,56	0,63	0,09	9,60	2	6	8
21	149	6,81	0,59	0,05	8,71	3	5	8
22	120	7,39	0,67	0,06	9,04	5	5	10
23	44	7,13	0,67	0,10	9,34	2	6	8
24	22	7,07	0,73	0,16	10,31	2	6	8
25	48	7,56	0,16	0,02	2,14	0,7	7,3	8
26	43	6,49	0,78	0,12	11,95	3	5	8
27	128	5,73	0,99	0,09	17,30	4	4	8
28	32	5,92	0,65	0,11	10,96	2	5	7
29	26	6,27	0,86	0,17	13,76	3	4	7
30	45	6,39	0,73	0,11	11,38	3	5	8
31	10	6,30	0,48	0,15	7,67	1	6	7
32	9	6,11	0,60	0,20	9,83	1,5	5,5	7
33	69	7,08	0,82	0,10	11,63	4	6	10

2.4.1.4. Galope

En los estadísticos descriptivos del carácter galope que se recogen en la **Tabla 2.28**, se observa un ligero descenso de observaciones registradas respecto a los caracteres antes estudiados, encontrándose en este carácter 3.060 registros. Por otro lado, la media observada fue de 6,75 puntos y un coeficiente de variación correspondiente al 10,33%.

Tabla 2.28.- Estadísticos descriptivos para el carácter “galope” en la raza equina Hispano – Árabe.

Variable	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
GALOPE	3060	6,75	0,69	0,01	10,33	6	4	10

En la **Tabla 2.29**, se observa el comportamiento de los grupos de manejo respecto al movimiento galope. Se aprecia que sigue las mismas directrices que los caracteres anteriores, siendo el grupo número 14 el que muestra la media más alta (6,91 pts.) y más homogeneidad en sus puntuaciones. Respecto a los coeficientes de variación se observa que los valores oscilaron entre 6,90% y 15,63%.

Tabla 2.29.- Estadísticos descriptivos para el carácter “galope” en función del Grupo de Manejo en la raza equina Hispano – Árabe.

GM	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
1	28	6,52	0,48	0,09	7,38	1	6	7
2	68	6,53	0,56	0,07	8,60	2,5	5	7,5
3	91	6,64	0,67	0,07	10,02	5	5	10
4	124	6,66	0,46	0,04	6,90	2	6	8
5	214	6,72	0,57	0,04	8,53	3,5	5	8,5
6	292	6,68	0,65	0,04	9,73	4	5	9
7	567	6,85	0,81	0,03	11,77	4	5	9
8	345	6,79	0,72	0,04	10,66	4,3	4,2	8,5
9	67	6,73	0,92	0,11	13,64	5	4	9
10	39	6,73	1,05	0,17	15,63	4,5	4	8,5
11	13	5,98	0,77	0,21	12,82	2	5	7
12	57	6,51	0,53	0,07	8,18	2,5	5	7,5
13	396	6,72	0,56	0,03	8,37	3,5	5	8,5
14	259	6,91	0,54	0,03	7,89	4,5	4	8,5
15	278	6,76	0,80	0,05	11,82	3	5	8
16	131	6,84	0,70	0,06	10,24	3,5	5	8,5
17	91	6,60	0,79	0,08	11,94	4	4	8

En la **Figura 2.4** se observa la representación gráfica del rendimiento del galope observados para el total de ganaderías estudiadas, donde se aprecia una distribución cercana a la normalidad, con un ligero sesgo a la izquierda que evidencia una tendencia a valorar por debajo de la media, por lo tanto, una mayor exigencia en este carácter con respecto al resto. La máxima frecuencia se encuentra en los 7 puntos, representando el 27% de las ganaderías incluidas en el estudio; a continuación se ubicó la puntuación de

6,5 puntos con el 23%; en el tercero y cuarto lugar se encontraron las puntuaciones de 6 y 7,5 puntos, representadas por el 20 y 13 por ciento, respectivamente; con el 12% de ganaderías se encontraron las puntuaciones del 5,5 pts. y 8 pts., y en última instancia, con las frecuencias más bajas se ubicaron los puntos extremos de la escala llegando a representar un 5%.

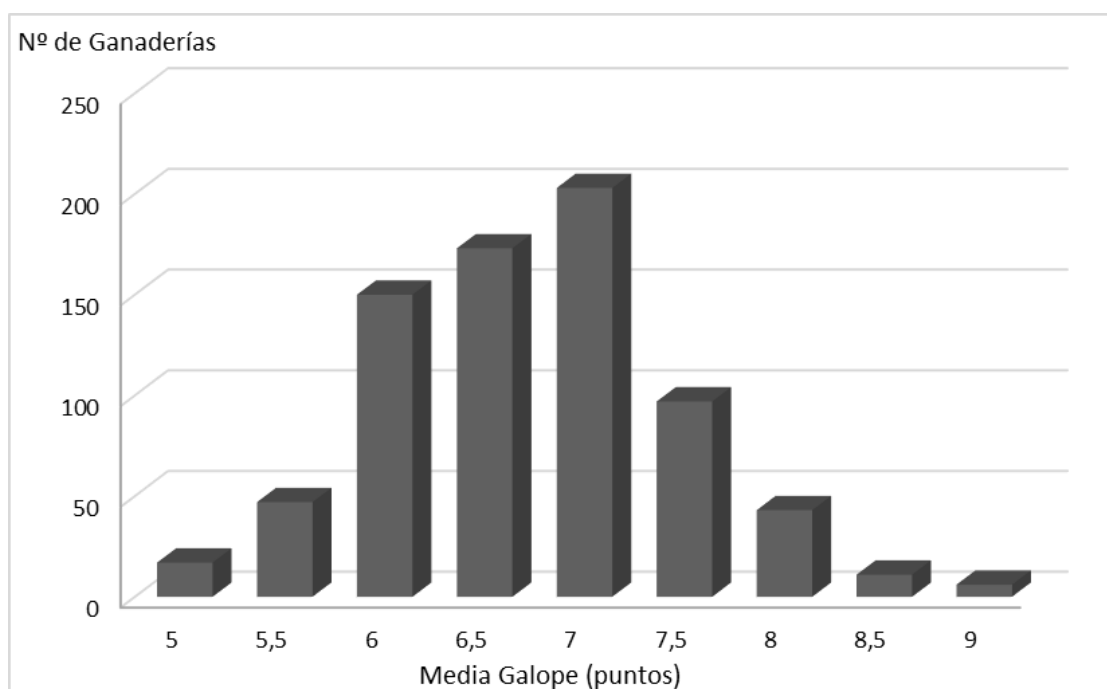


Figura 2.4.- Rendimiento del carácter "galope" en el total de ganaderías estudiadas.

En los resultados reflejados en la **Tabla 2.30**, se denota una clara superioridad de la media obtenida por los machos (6,81 pts.) frente a los 6,71 pts. de las hembras, sin embargo, los dos sexos mantuvieron una homogeneidad en sus puntuaciones, apreciación justificada por el bajo coeficiente de variación.

Tabla 2.30.- Estadísticos descriptivos para el carácter "galope" en función del sexo en la raza equina Hispano – Árabe.

Sexo	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
Macho	1386	6,81	0,71	0,02	10,45	5	4	9
Hembra	1674	6,71	0,68	0,02	10,19	6	4	10

El rendimiento del galope en función del año (**Tabla 2.31**), evidencia nuevamente que el incremento de la información se da a partir del año 2005, sin embargo, éste año

presenta una alta variabilidad en las puntuaciones obtenidas para éste carácter que se ven reflejadas en el coeficiente de variación. Mientras tanto, a partir del año 2008 se aprecia una estabilidad en las calificaciones manteniéndose un coeficiente de variación alrededor del 9,33%.

Tabla 2.31.- Estadísticos descriptivos para el carácter “galope” en función del año de calificación en la raza equina Hispano – Árabe.

Año	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
2000	15	7,50	0,57	0,03	0,00	5	5	10
2001	25	7,00	0,62	0,04	0,00	4	6	9
2002	33	8,00	0,66	0,05	0,00	3	6,5	9
2004	72	6,88	0,80	0,09	11,66	4	5	9
2005	172	6,59	1,06	0,07	16,08	3,5	5	8,5
2006	200	6,65	0,65	0,05	9,79	3	5	8
2007	175	6,86	0,69	0,05	10,12	2,7	5,5	8,2
2008	204	6,94	0,61	0,04	8,76	3,5	5,5	9
2009	192	6,71	0,66	0,05	9,77	4,3	4,2	8,5
2010	272	6,76	0,67	0,04	9,96	4	5	9
2011	411	6,94	0,64	0,03	9,28	4	5	9
2012	455	6,81	0,64	0,03	9,43	4,5	4	8,5
2013	523	6,61	0,62	0,03	9,41	5	4	9
2014	311	6,65	0,58	0,03	8,72	4,5	4	8,5

Las medias más altas obtenidas para este carácter se situaron en la época de otoño (6,81 pts.), mientras las medias para la época de primavera y verano oscilaron entre 6,73 puntos, no obstante, la época de verano mostró puntuaciones más homogéneas respecto a su coeficiente de variación observado; y en última instancia con los valores más bajos el invierno con 6,66 pts. (Tabla 2.32).

Tabla 2.32.- Estadísticos descriptivos para el carácter “galope” en función de la época de calificación en la raza equina Hispano – Árabe.

Época	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
Primavera	1062	6,73	0,73	0,02	10,78	5	4	9
Verano	792	6,73	0,60	0,02	8,86	5	4	9
Otoño	1010	6,81	0,74	0,02	10,89	5	4	9
Invierno	196	6,66	0,68	0,05	10,18	5	5	10

En la **Tabla 2.33** se observa como los concursos morfológicos muestran nuevamente el mismo comportamiento observado en los caracteres anteriores. Este tipo de prueba ofrece la media más alta (6,92 pts.), además es la prueba con las puntuaciones más homogéneas como pone de manifiesto el bajo coeficiente de variación (8,47%). En segundo lugar, se ubicaron las valoraciones con una media de 6,64 pts., y en última instancia se situaron los resultados de las PSCJ con 6,18 pts., siendo siempre estas las más exigentes.

Tabla 2.33.- Estadísticos descriptivos para el carácter “galope” en función del tipo de prueba en la raza equina Hispano – Árabe.

Tipo de Prueba	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
Valoración	952	6,64	0,66	0,02	9,99	5	5	10
Concurso Morf.	1784	6,92	0,59	0,01	8,47	4,8	4,2	9
PSCJ	324	6,18	0,95	0,05	15,37	5	4	9

En la **Tabla 2.34**, se observa el comportamiento del galope en función de los niveles de sangre donde se aprecia que sigue las mismas pautas que los caracteres antes evaluados. A este respecto, el nivel de sangre más frecuente fue el correspondientes al 50%, disponiendo 1.758 observaciones, sin embargo, el nivel que muestra más homogeneidad en sus puntuaciones fue el correspondiente al 12,5%.

Tabla 2.34.- Estadísticos descriptivos para el carácter “galope” en función del nivel de sangre en la raza equina Hispano – Árabe.

Nivel de Sangre	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
<12,5%	45	6,71	0,37	0,08	5,61	1	6	7
25%	809	6,71	0,61	0,15	8,95	2	5	8
50%	1758	6,47	0,53	0,17	8,41	1	6	7
62,50%	241	6,65	0,50	0,14	7,68	1	6	7
>75%	207	6,50	0,53	0,09	7,80	2	5	8

Entre la edad de 1 a 3 años (**Tabla 2.35**) el comportamiento de la media fue estable, situándose en torno al 6,89 pts. En tanto, las medias encontradas entre los 4 y 11 años ofrecieron una mayor variabilidad de acuerdo a los coeficientes de variación observados.

Tabla 2.35.- Estadísticos descriptivos para el carácter “galope” en función de la edad de calificación en la raza equina Hispano – Árabe.

Edad (Años)	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
1	357	6,89	0,50	0,03	7,26	3	5	8
2	394	6,93	0,54	0,03	7,76	3	5	8
3	581	6,86	0,57	0,02	8,28	4,3	4,2	8,5
4	744	6,64	0,79	0,03	11,83	5	4	9
5	435	6,63	0,83	0,04	12,57	6	4	10
6	213	6,60	0,77	0,05	11,70	4	5	9
7	76	6,88	0,72	0,08	10,40	2,5	6	8,5
8	70	6,83	0,68	0,08	9,99	2,5	6	8,5
9	43	6,62	0,72	0,11	10,95	3,5	5	8,5
10	44	6,76	0,80	0,12	11,85	3	5	8
11	32	6,47	0,74	0,13	11,42	2,6	5	7,6
12	36	6,47	0,48	0,08	7,40	1,5	6	7,5
13	19	6,37	0,62	0,14	9,74	2,5	5	7,5
14 o más	16	7,02	0,33	0,17	4,89	0,5	6,8	7,3

El rendimiento del galope en función del juez muestra que los jueces número 11 y 14 además de ser de los más frecuentes presentan un coeficiente de variación relativamente bajo (6,73%), lo que indica que estos jueces son muy homogéneos en sus calificaciones. Por otro lado, se aprecia que en un 39% de los jueces existe una gran variabilidad en las puntuaciones hecho confirmado por los coeficientes de variación observados (> 10%) (**Tabla 2.36**).

Tabla 2.36.- Estadísticos descriptivos para el carácter “galope” en función del juez en la raza equina Hispano – Árabe.

Juez	N	Media	D.E.	E.E	C.V. (%)	Rango	Min	Max
1	8	6,13	0,64	0,23	10,46	2	5	7
2	98	6,91	0,64	0,06	9,20	2	6	8
3	28	6,80	0,63	0,12	9,24	2	6	8
4	15	6,93	0,68	0,18	9,78	2	6	8
5	14	6,99	0,68	0,18	9,67	2,2	6	8,2
6	151	7,13	0,69	0,06	9,67	3	5,5	8,5
7	25	5,98	0,51	0,10	8,53	3	5	8
8	11	6,82	0,51	0,15	7,53	1,5	6	7,5
9	37	6,41	0,69	0,11	10,70	3	5	8
10	154	6,69	0,68	0,06	10,22	3,5	5,5	9
11	667	6,74	0,45	0,02	6,72	3,5	5,5	9
12	76	7,17	0,32	0,04	4,53	2	6,5	8,5
13	165	7,08	0,59	0,05	8,32	3,5	5,5	9
14	622	6,82	0,46	0,02	6,73	4	4	8
15	8	5,88	0,35	0,13	6,02	1	5	6
16	119	6,90	0,67	0,06	9,72	2	6	8
17	12	7,15	0,67	0,19	9,40	2	6	8
18	75	7,05	0,58	0,07	8,18	3,5	5,5	9
19	8	6,00	0,53	0,19	8,91	2	5	7
20	51	6,41	0,57	0,08	8,92	2	6	8
21	150	6,60	0,89	0,07	13,49	3	5	8
22	120	7,01	0,85	0,08	12,15	3,8	4,2	8
23	44	7,05	0,64	0,10	9,11	2,5	6	8,5
24	22	6,75	0,74	0,16	10,90	2,5	5,5	8
25	18	7,58	0,13	0,03	1,71	0,4	7,4	7,8
26	43	6,12	0,89	0,14	14,58	2	5	7
27	128	5,82	1,07	0,09	18,30	5	4	9
28	32	6,17	0,69	0,12	11,20	2,5	5	7,5
29	26	6,35	0,92	0,18	14,57	3	5	8
30	45	6,27	0,76	0,11	12,04	3	5	8
31	10	6,30	0,82	0,26	13,07	2	5	7
32	9	6,56	0,63	0,21	9,68	2	5,5	7,5
33	69	6,75	0,83	0,10	12,33	5	5	10

2.4.2.- Análisis multifactoriales

2.4.2.1. Armonía

En la **Tabla 2.37**, se presentan los resultados del análisis multivariado para el carácter de conformación *armonía*, se observa que todas las fuentes de variación a excepción del factor época de valoración resultaron significativos ($P < 0,01$; $P < 0,05$). El

análisis de la varianza indica que los efectos fijos incluidos en el modelo utilizado para este carácter explicaron un 31% de la variabilidad fenotípica.

Tabla 2.37.- Análisis de la varianza para el carácter de conformación “armonía” en la raza equina Hispano – Árabe.

Fuentes de Variación	GL	Valores de F	Pr>F
Grupo de Manejo (GM)	16	8,22	<,0001
Sexo	1	4,01	0,0452
Año de calificación	13	6,26	<,0001
Época de calificación	3	2,50	0,0581
Tipo de Prueba	2	33,18	<,0001
Nivel de Sangre	32	3,04	<,0001
Edad de calificación	20	1,85	0,0123
Juez	28	20,75	<,0001
Coficiente de determinación		31%	

Los resultados de los test de homogeneidad de medias “a posteriori” para el grupo de manejo (**Figura 2.5**), reflejan una gran homogeneidad entre ellos. Destacándose el grupo formado por el 10, 14, 16 y 15 con las medias más altas, formándose a continuación cinco grupos de homogeneidad, siendo el grupo 10 el que dispone la puntuación más alta en este carácter.

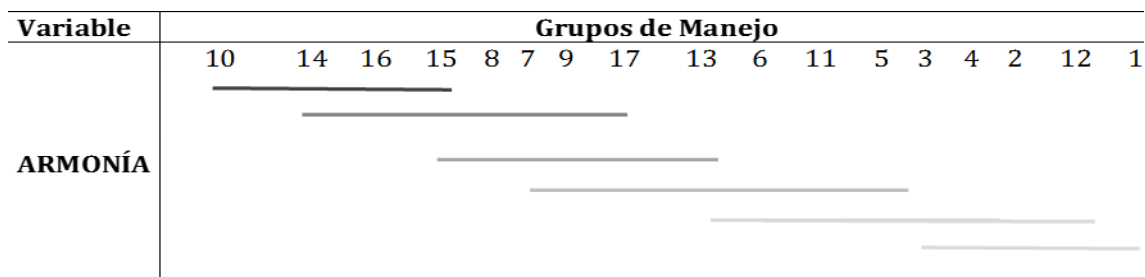


Figura 2.5.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter de conformación “armonía” en función del Grupo de Manejo mediante el test de Duncan.

El efecto del sexo sobre el rendimiento del carácter *armonía* puso de manifiesto la no existencia de grupos de homogeneidad entre sexos (**Figura 2.6**). Sin embargo, se ratifica que las puntuaciones más altas son obtenidas por los machos.

Variable	Sexo	
ARMONÍA	Macho	Hembra

Figura 2.6.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter de conformación “armonía” en función del sexo mediante el test de Duncan.

La influencia del año sobre el rendimiento en la *armonía* queda reflejada en la **Figura 2.7**, observándose la existencia de dos grupos claramente homogéneos. El primer grupo se estableció entre los años comprendidos 2001 a 2013, mientras el segundo grupo fue formado únicamente con el año 2000 y presentando la media más baja tomada para este criterio.

Variable	Año de calificación													
	02	04	08	11	05	07	12	06	14	09	01	10	13	00
ARMONIA	_____													_____

Figura 2.7.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter de conformación “armonía” en función del año de calificación mediante el test de Duncan.

En la **Figura 2.8** se pone de manifiesto la existencia de tres grupos homogéneos en el rendimiento de la *armonía* en función de la época de valoración. Se observa que las máximas puntuaciones se obtuvieron en la época de verano, mientras el otoño y la primavera se ubicaron en segundo lugar y, por último, la época de invierno el tercer grupo homogéneo presentando las puntuaciones más bajas.

Variable	Época de calificación			
	Verano	Otoño	Primavera	Invierno
ARMONÍA	_____	_____	_____	_____

Figura 2.8.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter de conformación “armonía” en función de la época de calificación mediante el test de Duncan.

Respecto a la homogeneidad de las medias en función del tipo de prueba indica la existencia de dos grupos completamente heterogéneos. Reiterándose los concursos morfológicos como el tipo de prueba que presenta las puntuaciones más altas, el segundo grupo corresponde a las valoraciones y a las PSCJ (**Figura 2.9**).

Variable	Tipo de Prueba		
	Concurso Morfológico	Valoración	PSCJ
ARMONÍA			

Figura 2.9.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter de conformación “armonía” en función del tipo de prueba mediante el test de Duncan.

En la **Figura 2.10** se pone de relieve la existencia de dos grupos de homogeneidad que se solapan para el carácter *armonía* en función de la edad de valoración. Se observa que a la edad de 16 y 18 años presentan las medias más altas y la media más baja se encontró a los 12 años.

Variable	Edad de calificación																		
	16	18	20	7	17	8	21	2	10	1	3	6	4	5	15	9	11	13	14
ARMONÍA																			

Figura 2.10.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter de conformación “armonía” en función de la edad de calificación mediante el test de Duncan.

Al analizar las medias de las puntuaciones del carácter *armonía* en función de los niveles de sangre se observa la formación de cuatro grupos homogéneos (**Figura 2.11**). Situándose las medias más altas en los niveles de sangre correspondientes al 62,5%. Mientras, el nivel de sangre 68,7% presenta la media más baja dada en este carácter.

Variable	Nivel de Sangre (%)	
ARMONÍA	62,25	
	18,75	
	65,67	
	81,25	
	59,37	
	68,75	
	56,25	
	65,63	
	62,5	
	87,5	
	50	
	75	
	31,25	
	25	
	43,75	
	37,5	
	0	
	81,2	
	40,87	
	40,63	
	65,12	
	12,5	
	65,6	
	53,12	
	59,38	
	53,13	
	56,62	
	81,75	
	31,2	
	40,88	
15,62		
65,62		
68,7		

Figura 2.11.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter de conformación “armonía” en función del nivel de sangre mediante el test de Duncan.

En la **Figura 2.12** se presenta la homogeneidad de las medias para el carácter *armonía* en función del juez. Se observa la existencia de diferentes grupos de homogeneidad, encontrándose las puntuaciones más altas otorgadas por el juez 13; siendo el juez 7 quien ha otorgado la puntuación más baja para este carácter.

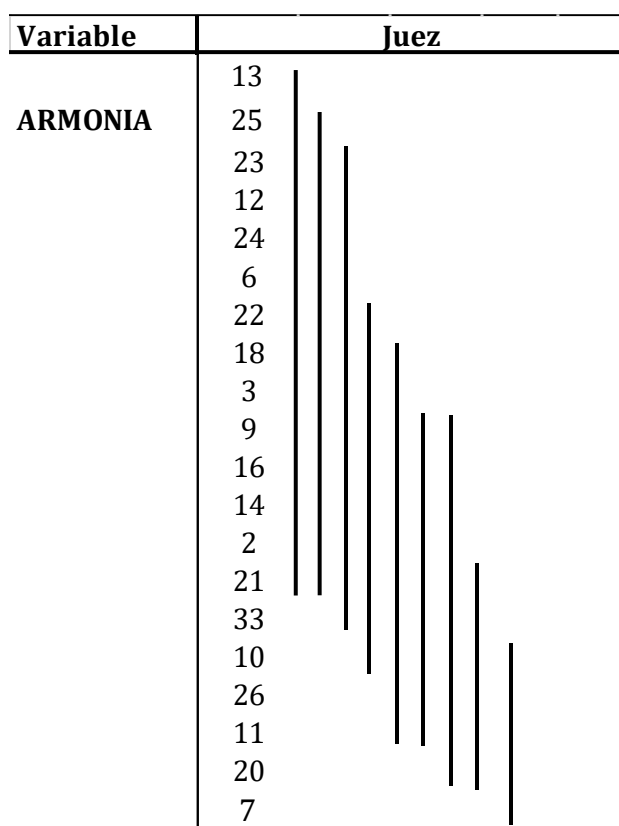


Figura 2.12.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter de conformación “armonía” en función del juez mediante el test de Duncan.

2.4.2.2. Paso

En la **Tabla 2.38** queda reflejado el análisis de la varianza para el movimiento *paso*, observándose como el efecto GM, año de valoración, tipo de prueba, nivel de sangre y el juez resultaron altamente significativos. Mientras que el sexo, la época de valoración y la edad de valoración fueron no significativos para este carácter. El coeficiente de determinación en este modelo fue inferior al indicado para el carácter armonía y trote, situándose en este caso en un 29%, indicándonos un mejor comportamiento del modelo para esta variable.

Tabla 2.38.- Análisis de la varianza para el carácter “paso” en la raza equina Hispano – Árabe.

Fuentes de Variación	GL	Valores de F	Pr>F
Grupo de Manejo (GM)	16	6,72	<,0001
Sexo	1	2,46	0,1168
Año de calificación	13	12,46	<,0001
Época de calificación	3	0,58	0,6253
Tipo de Prueba	2	41	<,0001
Nivel de Sangre	32	1,95	0,0011
Edad de calificación	20	1,41	0,1045
Juez	32	21,11	<,0001
Coefficiente de determinación		29%	

El rendimiento del movimiento *paso* en función de los grupos de manejo (**Figura 2.13**) presenta un comportamiento similar al carácter armonía, observándose la formación de varios grupos de homogeneidad. Siguiendo las mismas pautas que el anterior carácter, se sitúa en primer lugar con las puntuaciones más altas los grupos de manejo 14 y 10. Y con las medias más bajas el grupo funcional 11.

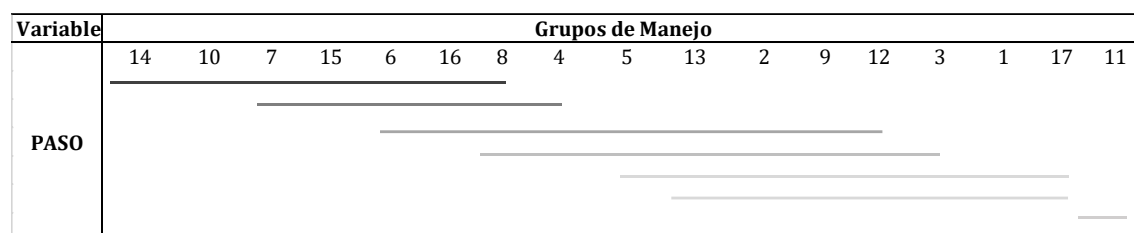


Figura 2.13.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “paso” en función del Grupo de Manejo mediante el test de Duncan.

El análisis del año de valoración en el movimiento *paso*, pone de manifiesto la formación de tres grupos de homogeneidad (**Figura 2.14**). Observándose que el año 2000 muestra un comportamiento opuesto al carácter armonía, situándose en este carácter como el año que presenta la puntuación más alta. Seguido del año 2002 y 2004 en segundo y tercer lugar, respectivamente. Por otro lado, el año 2009, 2007, 2010, 2012, 2013 y 2014 se situaron en el grupo con las medias más reducidas.

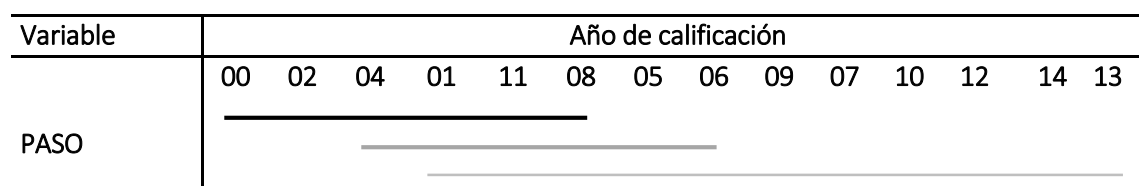


Figura 2.14.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “paso” en función del año de calificación mediante el test de Duncan.

En referencia al tipo de prueba, en el movimiento de *paso* tuvo lugar la formación de tres grupos de homogeneidad. De nuevo los concursos morfológicos alcanzaron las medias más altas, las valoraciones se situaron en segundo lugar y por último las PSCJ (Figura 2.15).

Variable	Tipo de Prueba		
	Concurso Morfológico	Valoración	PSCJ
PASO	_____	_____	_____

Figura 2.15.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “paso” en función del tipo de prueba mediante el test de Duncan.

En la **Figura 2.16** se observa la formación de tres grupos de homogeneidad, entendiéndose que son significativamente diferentes. Los niveles con las medias más altas fueron dados en el nivel de sangre correspondiente al 87,5% y 65,63%, mientras que las más bajas fueron con el 53,13%.

Variable	Nivel de Sangre (%)	
PASO	87,5	
	65,63	
	18,75	
	59,37	
	15,62	
	53,12	
	81,75	
	40,87	
	81,20	
	65,67	
	81,25	
	40,63	
	12,50	
	62,50	
	50	
	68,75	
	25	
	75	
	56,25	
	37,50	
	59,38	
	0	
	43,75	
	31,20	
	62,50	
	31,25	
	65,60	
	65,12	
	40,88	
	68,70	
56,62		
65,62		
53,13		

Figura 2.16.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “paso” en función del nivel de sangre mediante el test de Duncan.

La comparación de las medias para el carácter *paso* en función del juez (Figura 2.17) ofrece también la formación de grupos semejantes, el primer grupo formado por el juez 25 con la puntuación más alta, mientras el juez 28, 27 y 29 se ubicaron en el último grupo presentando las medias más bajas.

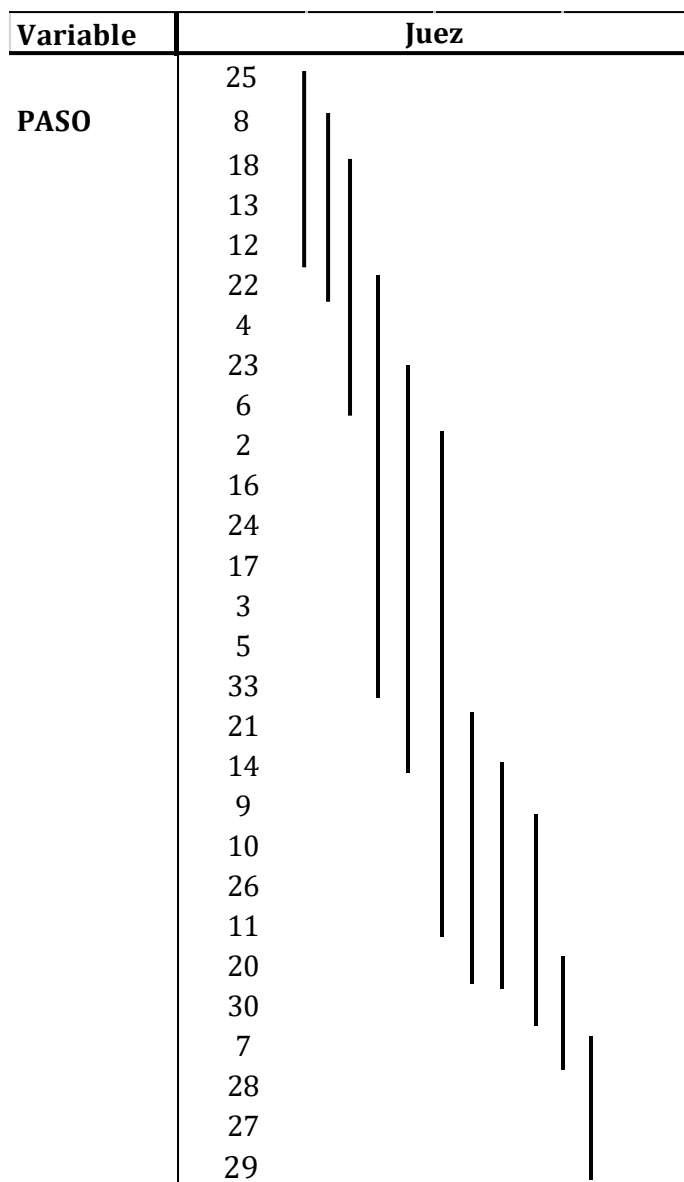


Figura 2.17.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “paso” en función del juez mediante el test de Duncan.

2.4.2.3. Trote

El análisis de la varianza para el carácter *trote* puso de manifiesto que todos los factores a excepción del sexo del animal y época de valoración resultaron significativos ($P < 0,01$). El coeficiente de determinación del modelo resultó ser el más alto entre los caracteres analizados, situándose en un 39% (Tabla 2.39).

Tabla 2.39.- Análisis de la varianza para el carácter “trote” en la raza equina Hispano – Árabe.

Fuentes de Variación	GL	Valores de F	Pr>F
Grupo de Manejo (GM)	16	10,13	<,0001
Sexo	1	1,50	0,2204
Año de calificación	13	11,53	<,0001
Época de calificación	3	2,05	0,1051
Tipo de Prueba	2	64,83	<,0001
Nivel de Sangre	32	2,68	<,0001
Edad de calificación	20	2,99	<,0001
Juez	32	12,41	<,0001
Coefficiente de determinación		39%	

Siguiendo la tónica general para este factor, se encontró la formación de grupos de homogeneidad para el movimiento del *trote* en función de los grupos de manejo (**Figura 2.18**). Destacan los grupos de manejo 14 y 10 presentando las medias más atas en este carácter. Del mismo modo, el grupo de manejo número 1 y 11 siguieron el mismo comportamiento presentado en los caracteres anteriores, situándose en último lugar con las medias más bajas.

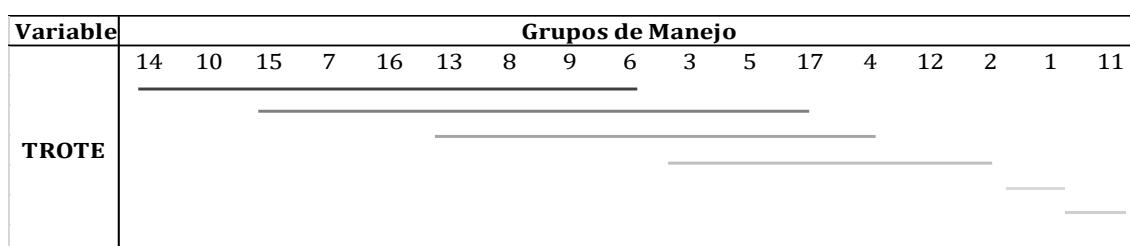


Figura 2.18.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “trote” en función del Grupo de Manejo mediante el test de Duncan.

El rendimiento del *trote* a lo largo de los años dio lugar a la formación de tres grupos de homogeneidad en este carácter. Encontrándose el año 2000 y 2002, en primer y segundo lugar, respectivamente. Formándose un tercer grupo que abarca los años comprendidos entre 2004 y 2014 (**Figura 2.19**).

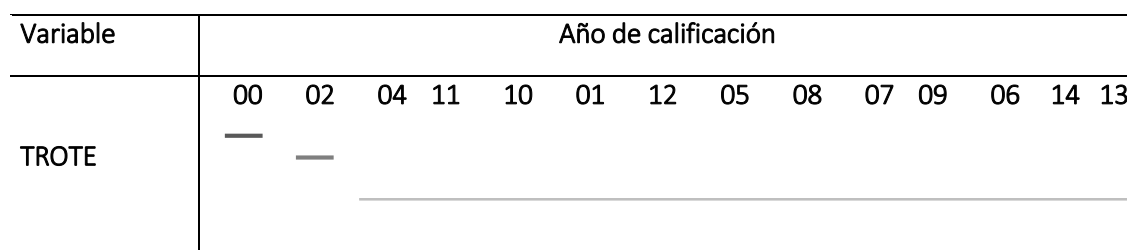


Figura 2.19.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “trote” en función del año de calificación mediante el test de Duncan.

La homogeneidad de las medias observadas en el *trote* en función del tipo de prueba, evidencian nuevamente la existencia de tres grupos de homogeneidad. Respecto a esto y siguiendo las mismas pautas observadas en los caracteres anteriores, los concursos morfológicos presentan los valores máximos mientras las PSCJ los menores dinteles (**Figura 2.20**).

Variable	Tipo de Prueba		
	Concurso Morfológico	Valoración	PSCJ
TROTE	_____	_____	_____

Figura 2.20.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “trote” en función del tipo de prueba mediante el test de Duncan.

En la **Figura 2.21** puede apreciarse la formación de cuatro grupos homogéneos en función de la edad de valoración, alcanzándose los valores más altos en las edades de 21 y 16 años, mientras las más bajas se registraron a los 13 y 14 años.

Variable	Edad de calificación																		
	21	16	18	8	7	17	2	10	3	20	15	1	11	4	6	5	9	12	13
TROTE	_____			_____												_____			

Figura 2.21.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “trote” en función de la edad de calificación mediante el test de Duncan.

Respecto a los niveles de sangre (**Figura 2.22**), se evidencia la formación de cuatro grupos de homogeneidad, indicándonos que son significativamente diferentes. El nivel de sangre correspondiente al 62,25% y 59,37% presentaron las puntuaciones más altas. Mientras que el nivel con las medias bajas fue nuevamente para el 53,13%.

Variable	Nivel de Sangre (%)	
TROTE	59,37	
	62,25	
	40,87	
	87,50	
	56,25	
	68,75	
	31,25	
	62,50	
	65,67	
	18,75	
	81,25	
	12,50	
	75	
	59,38	
	31,20	
	65,62	
	53,12	
	81,75	
	81,20	
	40,63	
	50	
	0	
	37,50	
	25	
	43,75	
	65,63	
	65,12	
	65,60	
	40,88	
	15,62	
68,70		
56,62		
53,13		

Figura 2.22.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “trote” en función del nivel de sangre mediante el test de Duncan.

Siguiendo la tónica mostrada en los caracteres anteriores, el comportamiento del trote en función del juez dio origen a la formación de 14 grupos de homogeneidad. En este caso, también se encontró al juez 25 con las puntuaciones más altas dadas en esta variable. Mientras los jueces 29, 28 y 27 repiten en este caso, al igual que para el carácter del paso, como los jueces que han otorgado las puntuaciones más bajas (Figura 2.23).

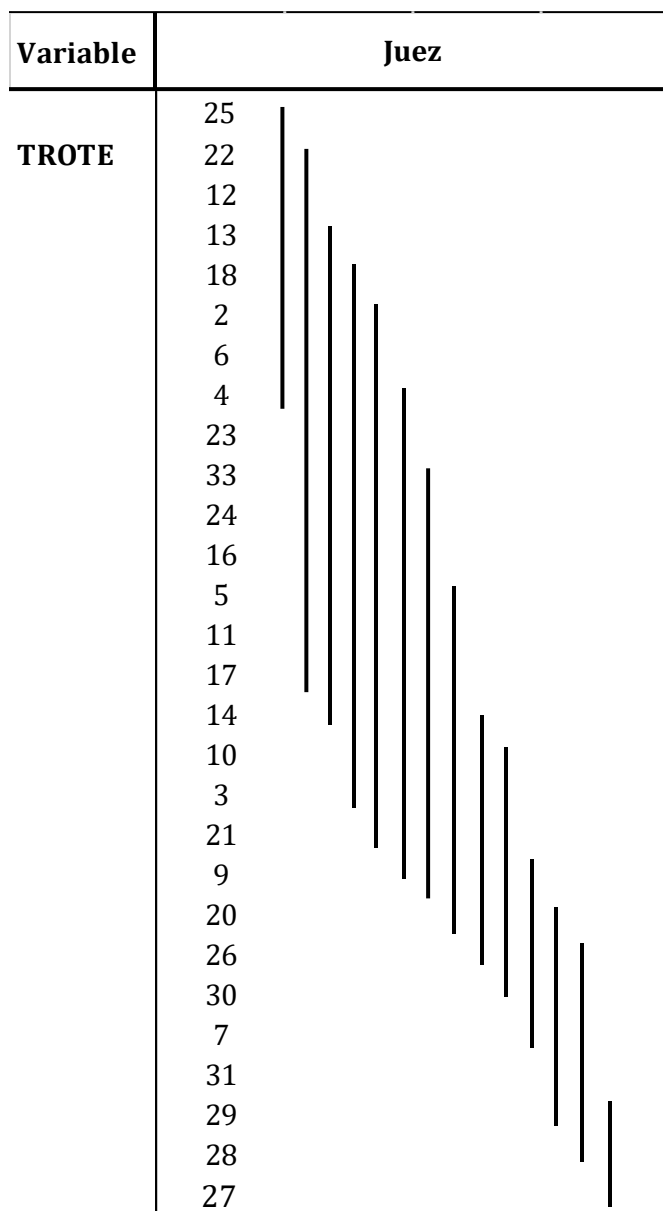


Figura 2.23.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “trote” en función del juez mediante el test de Duncan.

2.4.2.4. Galope

En la **Tabla 2.40** se aprecia el análisis de la varianza para el movimiento *galope*, se aprecia nuevamente que todos los factores analizados fueron significativos ($P < 0,01$). El coeficiente de determinación resultó ser similar al encontrado en el carácter paso, situándose en el 29%.

Tabla 2.40.- Análisis de la varianza para el carácter “galope” en la raza equina Hispano – Árabe.

Fuentes de Variación	GL	Valores de F	Pr>F
Grupo de Manejo (GM)	16	4,81	<,0001
Sexo	1	26,07	<,0001
Año de calificación	13	7,32	<,0001
Época de calificación	3	16,71	<,0001
Tipo de Prueba	2	34,4	<,0001
Nivel de Sangre	32	1,97	0,0009
Edad de calificación	19	1,93	0,0092
Juez	32	14,4	<,0001
Coefficiente de determinación		29%	

Al analizar el comportamiento del *galope* en función de los grupos de manejo, observamos cómo se repite la pauta que en las variables anteriores encontrándose la formación de cinco grupos de homogeneidad. Destacando nuevamente que el grupo de manejo número 14 presenta los valores máximos en esta variable, seguido del grupo número 7 y 16 como los más destacados. Y al igual que el paso y el trote, el grupo de manejo número 11 con la media más baja (**Figura 2.24**).

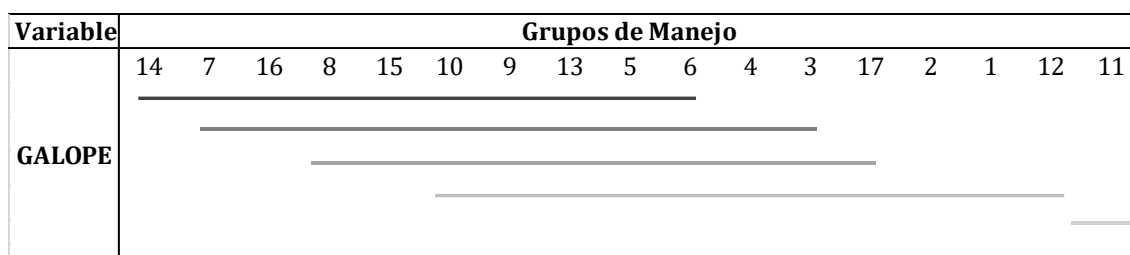


Figura 2.24.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “galope” en función del Grupo de Manejo mediante el test de Duncan.

Por otro lado, es destacable para el factor sexo la heterogeneidad encontrada para el *galope* (**Figura 2.25**), situación también dada en el carácter armonía, donde se formaron dos grupos de homogeneidad y los machos mostraron superioridad frente a las hembras.

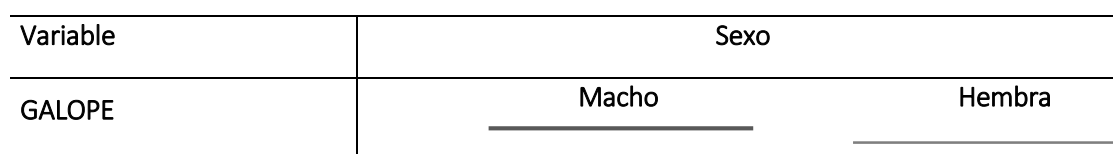


Figura 2.25.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “galope” en función del sexo mediante el test de Duncan.

La homogeneidad de las medias del *galope* respecto al año de valoración queda reflejada en la **Figura 2.26**, observándose nuevamente la formación de tres grupos de homogeneidad. Los grupos quedaron estructurados de la siguiente manera: el primer grupo formado por el año 2002, el segundo grupo compuesto por los años 2000 y 2001, y por último el grupo más amplio formado por los años 2008, 2011, 2004, 2007, 2012, 2010, 2009, 2014, 2006, 2013 y 2005. Encontrándose la máxima puntuación en el año 2002.

Variable	Año de calificación													
	02	00	01	08	11	04	07	12	10	09	14	06	13	05
GALOPE	_____		_____		_____									

Figura 2.26.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “galope” en función del año de calificación mediante el test de Duncan.

En el análisis de la **Figura 2.27** se observa la formación de dos grupos de homogeneidad, siendo la época de otoño la que registró las mayores puntuaciones, a continuación, el grupo formado por la época de primavera y verano, y en última instancia el invierno con las medias más bajas.

Variable	Época de calificación			
	Otoño	Primavera	Verano	Invierno
GALOPE	_____			_____

Figura 2.27.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “galope” en función de la época de calificación mediante el test de Duncan.

Respecto al comportamiento del *galope* en función del tipo de prueba, se observa nuevamente la misma tónica que en los tres caracteres antes evaluados, es decir la no formación de tres grupos de homogeneidad. Además, a esto, hay que añadir que los valores máximos fueron registrados en los concursos morfológicos (**Figura 2.28**).

Variable	Tipo de Prueba		
GALOPE	Concurso Morfológico	Valoración	PSCJ
	_____	_____	_____

Figura 2.28.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “galope” en función del tipo de prueba mediante el test de Duncan.

Al analizar los resultados para el *galope* en función de la edad (Figura 2.29), se observa la formación de dos grupos de homogeneidad. Por un lado, tenemos la edad de 18 años que presenta el valor máximo en esta variable por otro, se encuentra el grupo de edades de 21, 20, 15, 2, 1, 7, 17, 3, 8 y 10 años y por último, el grupo formado por los 4, 5, 9, 6, 11, 12, 14 y 13 años.

Variable	Edad de calificación																		
GALOPE	18	21	20	15	2	1	7	17	3	8	10	4	5	9	6	11	12	14	13
	_____										_____								

Figura 2.29.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “galope” en función de la edad de calificación mediante el test de Duncan.

Para los niveles de sangre, los valores medios de las puntuaciones en el galope dieron lugar a la formación de cuatro grupos de homogeneidad. Respecto a esto, el nivel de sangre 62,5% y 81,25% muestran los valores máximos para esta variable (Figura 2.30).

Variable	Nivel de Sangre (%)	
GALOPE	62,25	
	81,25	
	40,87	
	81,20	
	18,75	
	59,37	
	65,63	
	12,50	
	59,38	
	40,63	
	37,50	
	62,50	
	68,75	
	65,67	
	50	
	25	
	75	
	31,25	
	43,75	
	56,25	
	65,60	
	87,50	
	45,62	
	31,20	
	53,12	
	65,62	
	0	
	40,88	
	68,70	
	65,12	
56,62		
53,13		
81,75		

Figura 2.30.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “galope” en función del nivel de sangre mediante el test de Duncan.

Al igual que lo observado en los demás caracteres, la comparación de las medias dio lugar a la formación de 11 grupos de homogeneidad (**Figura 2.31**), destacando dentro de todos los grupos al juez número 25, juez con los valores máximos en las tres variables antes estudiadas.

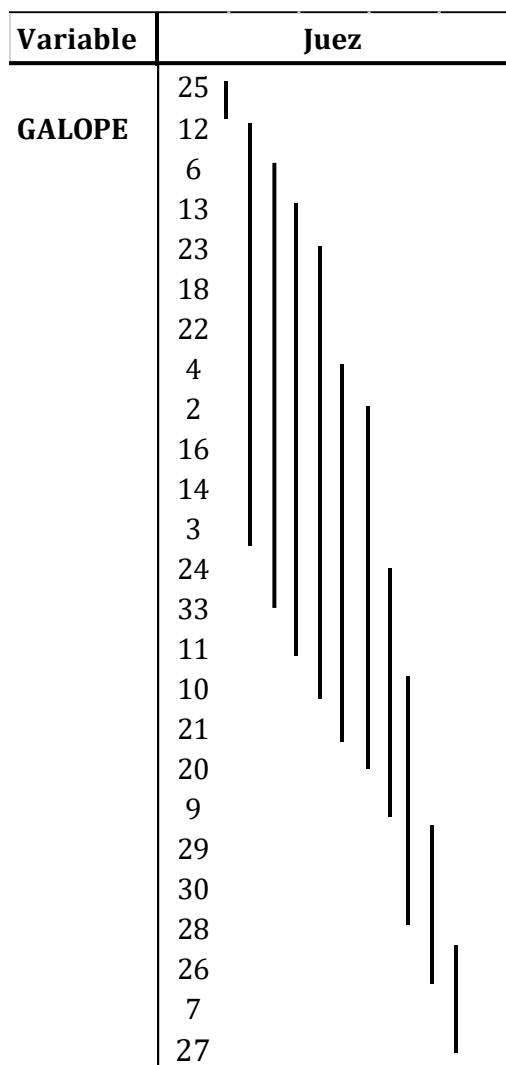


Figura 2.31.- Comparación gráfica de la homogeneidad de las medias en el carácter “galope” en función del juez mediante el test de Duncan.

2.4.3.- Análisis Unifactoriales

2.4.3.1. Armonía

Los resultados del análisis de la varianza de los efectos de los distintos factores que afectan al carácter *armonía* quedan reflejados en la **Tabla 2.41**. Puede observarse que a excepción de la edad de valoración los demás factores mostraron ser altamente significativos. En cuanto a la varianza total, debe destacarse el efecto de la ganadería y el juez, presentando un 24% y 20% de la misma, respectivamente. Mientras, el resto de factores se mantuvieron en valores muy lejos de los observados en los efectos antes mencionados.

Tabla 2.41.- Análisis unifactoriales simples de los efectos de los distintos factores sobre el rendimiento del carácter armonía.

<i>Fuentes de Variación</i>	<i>GL</i>	<i>Valores de F</i>	<i>Pr>F</i>	<i>R2</i>
Ganadería	262	3,44	<0,0001	0,24
Grupo de Manejo (GM)	16	11,84	<0,0001	0,06
Sexo	1	13,59	0,0002	0,004
Año de calificación	13	10,36	<0,0001	0,04
Tipo de Prueba	2	64,12	<0,0001	0,04
Nivel de Sangre	32	3,11	<0,0001	0,03
Edad de calificación	20	1,73	0,0226	0,01
Juez	28	27,44	<0,0001	0,20

2.4.3.2.- Paso

En la Tabla 2.42 puede observarse los resultados del análisis de la varianza para los distintos efectos sobre el movimiento *paso*. Se observa que todos los efectos mostraron ser altamente significativos. Destacando en este caso el efecto del juez con un 28%, del rebaño con un 17% y el efecto del tipo de prueba con un 13%, como los que presentaron los mayores porcentajes de la varianza total explicada.

Tabla 2.42.- Análisis unifactoriales simples de los efectos de los distintos factores sobre el rendimiento del carácter *paso*.

<i>Fuentes de Variación</i>	<i>GL</i>	<i>Valores de F</i>	<i>Pr>F</i>	<i>R2</i>
Ganadería	262	2,48	<0,0001	0,17
Grupo de Manejo (GM)	16	8,39	<0,0001	0,04
Año de calificación	13	21,5	<0,0001	0,08
Tipo de Prueba	2	255,02	<0,0001	0,13
Nivel de Sangre	32	2,5	0,0001	0,02
Juez	32	40,81	<0,0001	0,28

2.4.3.3.- Trote

Siguiendo la misma tendencia, en la Tabla 2.43 se observan los resultados del análisis de la varianza para el carácter *trote*, donde se aprecia que todos los efectos resultaron tener una alta significancia. Así mismo, el efecto juez, ganadería y tipo de prueba mostraron los mayores porcentajes de la varianza explicada, con un 21%, 17% y 15%, respectivamente, mientras los demás efectos mostraron escasa representatividad.

Tabla 2.43.- Análisis unifactoriales simples de los efectos de los distintos factores sobre el rendimiento del carácter trote.

<i>Fuentes de Variación</i>	<i>GL</i>	<i>Valores de F</i>	<i>Pr>F</i>	<i>R2</i>
Ganadería	262	2,41	<0,0001	0,17
Grupo de Manejo (GM)	16	7,74	<0,0001	0,04
Año de calificación	13	13,27	<0,0001	0,05
Tipo de Prueba	2	306,01	<0,0001	0,15
Nivel de Sangre	32	2,28	<0,0001	0,02
Edad de calificación	20	5,83	<0,0001	0,03
Juez	32	27,91	<0,0001	0,21

2.4.3.4.- Galope

Para el caso de la variable *galope*, el análisis de la varianza simple reflejó que todos los efectos resultaron ser altamente significativos, sobresaliendo de nuevo el efecto juez (20%) y el efecto ganadería (15%) con los porcentajes de varianza explicada más altos, pero también a tener en cuenta es el 11% del efecto tipo de prueba para este caso (Tabla 2.44).

Tabla 2.44.- Análisis unifactoriales simples de los efectos de los distintos factores sobre el rendimiento del carácter galope.

<i>Fuentes de Variación</i>	<i>GL</i>	<i>Valores de F</i>	<i>Pr>F</i>	<i>R2</i>
Ganadería	256	2,01	<0,0001	0,15
Grupo de Manejo (GM)	16	4,74	<0,0001	0,02
Sexo	1	15,10	<0,0001	0,004
Año de calificación	13	8,88	<0,0001	0,04
Época de calificación	3	3,91	<0,0001	0,003
Tipo de Prueba	2	194,69	<0,0001	0,11
Nivel de Sangre	32	2,27	<0,0001	0,02
Edad de calificación	19	6,58	<0,0001	0,04
Juez	32	23,13	<0,0001	0,20

2.5.- DISCUSIÓN

2.5.1.- Estadísticos descriptivos.

La media global obtenida para el carácter armonía y trote fueron las más altas, con una media no muy diferente pero ligeramente inferior se situó los caracteres paso y galope. Los coeficientes de variación obtenidos fueron de un nivel medio-bajo, por lo tanto, las puntuaciones de la población analizada son lo suficientemente homogéneas para estos caracteres, pero ponen de manifiesto una baja variabilidad basal y con ello

unas perspectivas para el progreso genético no muy optimistas, si bien los modelos genéticos determinarán los niveles de varianza genética existentes.

Si comparamos el resultado obtenido para la variable **Armonía** respecto a otras razas nacionales, encontramos que el Pura Raza Español (PRE) mostró una media significativamente más baja (5,5 pts.) (Sánchez y cols., 2013). A nivel internacional, haciendo una comparativa con otros estudios encontramos que el Caballo de Deporte de Hungría reportó resultados ligeramente inferiores con un valor medio de 6,95 pts. (Posta y cols., 2010); mientras que en la raza equina Pura Sangre Sueco se reportó un valor medio de 6,9 pts. (Holmström y Philipsson 1993), estos valores fueron medidos para la impresión general de animal. Por otro lado, Preisinger y cols. (1991) y Vicente y cols. (2014) hallaron una media de 7,14 puntos, valores muy cercanos a los presentados en este estudio.

Respecto a la variable **Trote**, la media obtenida en el caballo HA está acorde a las medias normales reportadas en otras razas equinas nacionales e internacionales; por un lado, nuestro resultado es ligeramente inferior a lo reportado por (Schroderus y Ojala 2010) en la raza Finnhorse y en el Pura Sangre Sueco (Jönsson y cols., 2014) con una media de 7,1 pts., respectivamente; mientras que si lo comparamos con los 6,40 pts. registrados por Posta y cols. (2010) y 6,32 pts. por Viklund y cols. (2010) nuestro resultado es ligeramente superior. Sin embargo, existen otros estudios en los que el trote mostró una media más elevada a la reportada en el HÁ, como es el caso de la raza Standardbred con una media de 7,3 pts. (Schroderus y Ojala 2010) y el Pura Sangre Alemán con 7,22 (Becker y cols., 2011; Becker y cols., 2013).

El rendimiento medio del **Paso** respecto a otra raza española mostró una media inferior a la descrita por Valera y cols. (2005) en el Pura Raza Español (7,4 pts.). Haciendo una comparativa con razas extranjeras, nuestro resultado es ligeramente inferior al encontrado en el Pura Sangre Sueco (6,91) y en el caballo de deporte de Hungría (6,85) (Gerber Olsson y cols., 2000; Posta y cols., 2010). En la raza Pura Sangre Holandés, Huizinga y cols. (1991) reportó una media de 6,67 pts., valor ligeramente inferior al HÁ. Algo similar ocurre en el estudio presentado por Wallin y cols. (2003) con una media de

6,4 pts., y Holmström y Philipsson (1993) con 6,3 pts. de media en el Pura Sangre Sueco de silla.

Respecto al carácter *Galope*, encontramos que el promedio obtenido en el caballo Hispano-Árabe supone un valor muy aceptable dentro de las razas equinas que miden este carácter. Comparativamente con los rendimientos obtenidos en otras razas, se aprecia una media más elevada a lo ofrecido por Wallin y cols. (2003) que situó la media en 6,50 pts., igual acontece con la raza Pura Sangre Sueco que registró una media de 6,69 pts. (Viklund y cols., 2010). Por otra parte, Posta y cols. (2010) obtuvieron una media superior en el caballo de Deporte de Hungría de 6,92 puntos. Más elevados si cabe son los rendimientos obtenidos por Gerber Olsson y cols. (2000) al analizar los parámetros genéticos del Pura Sangre Sueco, mostrando una media para este carácter de 7,09 pts. Significativamente más elevados son los promedios obtenidos en el Pura Sangre Alemán en un estudio realizado sobre la correlación genética entre el libre movimiento y bajo cuerda, en el que se registró una media de 7,24 puntos para este carácter (Becker y cols., 2011).

Como ya ha sido señalado en estudios realizados para otras razas (Butler 1987; Gerber Olsson y cols., 2000; Valera y cols., 2005), la utilización de la escala de evaluación por parte de los jueces es limitada. En este estudio se define en un rango de 3 a 10 puntos (ver **Tablas 2.1, 2.10, 2.19 y 2.28**). A pesar de la escasa utilización del límite inferior de la escala para todas las puntuaciones emitidas, se observa una mayor diferenciación entre los animales de menor calidad y los animales de calidad media, observando cómo estos últimos reciben una puntuación media próxima a los 7 puntos. Además, hay que indicar que si un animal recibe una puntuación demasiado baja no cumpliría la calificación requerida para entrar a formar parte del Libro Genealógica de la raza y por lo tanto sería excluido. Escenario que justifica que no existan animales con puntuaciones demasiado bajas. Preisinger y cols. (1991), informó que usar una escala estrecha puede estar causado por los diferentes métodos que usa cada juez; y por otro, a que los jueces no están dispuestos a utilizar la escala completa. Más importante aún, es el efecto que causa el disponer de una escala estrecha y es el desconocimiento de la calidad real de los animales juzgados, produciendo un sesgo importante en la estimación de los componentes de la

varianza (Bhatnagar y cols., 2011). A pesar de esta particularidad, nuestros resultados se encuentran dentro de los resultados normales reportados en otras razas nacionales e internacionales que evalúan estas variables, tanto en medidas de tendencia central como dispersivas.

Respecto al rendimiento de los cuatro caracteres en función de los **grupos de manejo**, se aprecia la formación de 17 grupos funcionales. La creación de estos grupos funcionales estuvo motivada principalmente por el elevado número de ganaderos con un único animal. Este comportamiento provocaba tener muchos problemas a la hora de realizar los diferentes análisis estadísticos y genéticos, y que finalmente se ha solventado con la creación de dichos grupos de manejo. Respecto a los coeficientes de variación observados en los cuatro caracteres, indicar que existen grupos que mostraron menor variabilidad en sus puntuaciones, mientras otros evidenciaron un elevado nivel de variabilidad. Por último, añadir que está claro que el manejo de un único animal en una ganadería es diferente al manejo de 2, 3, etc., considerando que este efecto ambiental está afectando de la misma manera a los animales presentes en el mismo grupo de manejo (Posta y cols., 2010). Si bien este factor mejora la eficiencia del modelo, no lo hace con la intensidad deseable, ya que sólo explica en torno a un 2% de la varianza.

Cuando analizamos los promedios obtenidos de los cuatro caracteres en función del **sexo**, observamos que en al menos dos caracteres las máximas puntuaciones se registraron en los machos, sin embargo, la diferencia entre sexos fue relativamente baja pero significativa. Además, el coeficiente de variación mostrado por los dos sexos fue muy similar en el carácter paso, trote y galope (10,45%), mientras que para la armonía se mantuvo en un 9,43%. Las diferencias entre sexos pueden explicarse porque los potros y potras, sementales o yeguas tienen diferente desarrollo y crecimiento a edades tempranas. Las diferencias entre sexos son evidentes, debido a aspectos físicos, fisiológicos y de comportamiento, de ahí la importancia de su análisis para poder entender si un género puede ser superior o no y también por qué (Whitaker y cols., 2008). Las diferencias entre machos y hembras en la competición deportiva ya han sido demostradas, estadísticamente el macho tiene un mejor rendimiento que la hembra dijo Patterson y cols. (2005). Resultados similares a los observados en el HÁ fueron

encontrados por Wallin y cols. (2003), donde los machos registraron las puntuaciones más altas frente a las hembras en el movimiento del galope. Por otro lado, en el Pura Raza Español encontraron que la media registrada en el paso fue prácticamente la misma en ambos sexos (7,4 pts.) y en el trote los machos fueron ligeramente superiores a las hembras, además sus coeficientes de variación fueron más bajos a los reportados en este estudio, indicándonos que el paso y trote registrado en el HÁ muestran una mayor variabilidad a pesar de obtener una media más baja a lo reportado por Valera y cols. (2005). Sin embargo, Saastamoinen (1993) reportó resultados contrarios a los de este estudio, siendo los potros los que tenían calificaciones más bajas en la armonía respecto a las potras, comportamiento que justifica este autor a que posiblemente este resultado este provocado por la subjetividad del carácter. Algo similar también fue lo hallado en la raza Finnhorse trotters en la que fueron las hembras las que obtuvieron las puntuaciones más altas en la mayoría de los caracteres a excepción del *carácter* que los machos registraron la media más elevada (Suontama y cols., 2009). Haciendo una comparativa con otras disciplinas deportivas encontramos que en la equitación las potras tuvieron mejores puntajes que los potros, sin embargo en los movimientos, el comportamiento fue el contrario (Bhatnagar y cols., 2011). De todas formas, los resultados obtenidos en machos y hembras pueden no ser directamente comparables, debido por un lado a las diferencias probables que existen respecto a la intensidad de selección efectuada en cada sexo; y por otro, al uso y manejo más frecuente de los machos frente a las hembras, porque el impacto que ejercen los machos en los programas de mejora es mucho más directo que las hembras (Suontama y cols., 2009).

De cualquier forma y de manera general podemos admitir el dimorfismo sexual en la expresión de este tipo de caracteres, dimorfismo que favorece a las hembras en cuestiones de morfología y habilidad, mientras que a los machos en cuestión de fuerza.

Al analizar los resultados para el carácter de conformación y movimientos en función del *año de calificación*, se observó un incremento constante de observaciones a partir del año 2009, además de mostrar una gran estabilidad en las puntuaciones respecto a los coeficientes de variación observados, siendo el carácter armonía el que presenta los porcentajes más bajos (7%) mientras que, para el paso, trote y galope los coeficientes oscilaron entre el 8% y 12%. El año de juzgamiento por lo general

proporciona una explicación significativa de las tendencias o fluctuaciones de los caracteres evaluados en los distintos años. Arnason (1984) justificó este comportamiento debido a los cambios que pueden existir en los requisitos de juzgamiento, diferencias en la selección del material utilizados en los concursos y la calidad de dichos concursos. Suontama (2012) informó que la variación anual en las características funcionales puede indicar cambios esporádicos en las normas de juzgar a los animales y a la subjetividad a la que están sujetos los jueces, mientras el rendimiento del animal puede seguir siendo el mismo. En cuanto a esta última afirmación, Preisinger y *cols.* (1991) lo confirmaron indicando que no puede haber diferencias en las valoraciones de los animales a través de los años. Así mismo, Suontama (2012) estableció que las diferencias entre años pueden reflejar una variación anual debido a las condiciones ambientales a las que están sujetos los individuos, condiciones tales como el manejo, calidad nutricional y bienestar animal entre otros. En base a todo lo expuesto, puede indicarse que estas diferencias encontradas entre los distintos años están atribuidas a todos aquellos factores externos que de una u otra forma condicionan el rendimiento óptimo del animal. Pero en nuestro caso las oscilaciones interanuales son especialmente justificables, al tratarse de un programa muy joven, hemos pasado por unos años iniciales de puesta a punto de la metodología de calificación, hasta su estabilización. Así mismo, ya se empiezan a apreciar las tendencias fenotípicas como consecuencia de los resultados del programa.

Cuando se analizaron los resultados de los cuatro caracteres en función de la *época de calificación*, se encontró que las máximas puntuaciones para tres de los cuatro caracteres (armonía, paso y trote) se registraron en la época de primavera, mientras que para el galope se alcanzaron en otoño. Si bien las diferencias entre las épocas no son excesivamente elevadas, la época que mostró la media más baja en todas las variables estudiadas fue el invierno. Esto puede interpretarse como que los animales jóvenes y adultos están en mejores condiciones y su rendimiento es más óptimo durante y después de la temporada con mayor disponibilidad de pasto y este va decreciendo a medida que las condiciones ambientales y la escases de alimento se hacen presentes (Suontama 2012). Resultados similares para el efecto de la época de valoración en características morfológicas en potros fueron reportados por Saastamoinen (1993) en la raza Finnhorse. En el caso del paso, encontramos que este mejoró su rendimiento de forma constante

entre épocas en las razas Standardbred y Finnhorse (Suontama 2012). Como hemos visto, la influencia de la época sobre las valoraciones está supeditada a la edad del animal, la alimentación y el desarrollo, afectando directamente al rendimiento funcional de los caballos. Comparándolo con otras especies este comportamiento también ha sido evidenciado, así van Bergen y van Arendonk (1993) encontraron que las puntuaciones para la capa en los ponis Shetland estaban influenciados por la época; mientras León (2008) y Sánchez *y cols.* (2006) hallaron cambios en los niveles productivos de la leche en función de la época en que fueron tomados.

De cualquier modo, no podemos descartar influencias del fotoperiodo y otros comportamientos cíclicos fisiológicos dependientes del clima. Es indudable que tanto la morfología como el comportamiento sufren una fuerte influencia de los factores lumínicos y climatológicos que afectan su expresión.

El rendimiento de la armonía y los movimientos en función del *tipo de prueba*, arroja que, para todos los caracteres, los valores máximos fueron registrados en el tipo de prueba de concursos morfológicos, seguido de los resultados provenientes de las valoraciones y en último lugar las PSCJ. La rigurosidad de cada prueba queda reflejada claramente en los resultados obtenidos, observándose como los jueces son más tolerantes o flexibles en los concursos morfológicos y más exigentes en las valoraciones y PSCJ, probablemente debido a que, en estas últimas, las valoraciones son competitivas y las otras dos sí. Situación además justificada debido a la importancia o influencia directa de cada una de ellas en los planes de mejora de la raza, siendo de vital importancia poseer animales que aporten y demuestren las mejores características (Delgado *y cols.*, 2012). Este hallazgo también ha sido evidenciado en otras razas, como sucede en el Pura Raza Española (Valera *y cols.*, 2005) dónde encontraron diferencias entre los diferentes concursos morfológicos nacionales realizados, o en el Standardbred trotter en el que encontraron diferencias significativas entre diferentes localidades dónde se tomó las calificaciones (Schroderus 2006). Por otra parte, este factor es considerado un efecto ambiental que afecta de manera directa al rendimiento de los caballos, factores tales como la formación de los jueces asignados en cada prueba, las superficies de arena y el material a utilizar puede condicionar de forma sistemática los resultados durante el período de prueba (Valera *y cols.*, 2005). La importancia del evento en los análisis

genéticos ya ha sido demostrada por varios autores, señalando que es un factor que influye de manera significativa en el rendimiento de los caballos (Valera y cols., 2005; Sánchez y cols., 2013).

Según los *niveles de sangre*, a primera vista se observa la existencia de un gran número de niveles de sangre presentes en la raza HÁ, situación que provoca mayor dificultad para estimar qué porcentaje de sangre tiene mejor o peor comportamiento en cada carácter. Esta particularidad presente en el caballo Hispano – Árabe es observada en pocas razas equinas, tal es el caso de la raza Dutch Warmblood en el que varios estudios se observa como el porcentaje de sangre es incluido en el modelo de análisis (Huizinga y cols., 1991; Koenen y cols., 1995; Ducro y cols., 2007), entendiéndose que posiblemente exista un efecto de heterosis sobre los resultados y que estos deben tenerse en cuenta en los posteriores análisis. Por otro lado, observamos como prevalecen cinco niveles de sangre, entre ellos el del 50% que representa al 58% de los animales presentes en este estudio; el 25% de sangre con una representación del 26% de la población; el 62,5% y 75% representan juntos el 15% de los animales con este porcentaje de sangre y, por último, se encuentra el del 12,5%, representando al 1% de la población. Información que nos indica que, a pesar de encontrarse muchos niveles de sangre en la raza, solo unos cuantos prevalecen con dominancia en la raza y esto nos hace pensar que la raza está tendiendo a la homogeneización y por tanto a consolidarse como raza sintética y cerrarse reproductivamente. En esta tendencia se aprecia también una inclinación hacia la sangre árabe en detrimento de la española, sobre todo en tiempos recientes.

Debemos resaltar que en nuestro estudio no se aprecia signo alguno de heterosis en las calificaciones de los jueces, lo que nos hace cuestionarnos la existencia de efectos de dominancia significativos frente a los efectos aditivos en estos caracteres.

Respecto al rendimiento de los cuatro caracteres en función de la *edad de calificación*, primero se observó que los valores mostrados en el grupo de más de 14 años alcanzaron los guarismos máximos en todos los caracteres; sin embargo, hay que tener en cuenta que estos animales han sido juzgados hace un tiempo considerable y el sistema de calificación era menos estricto que el actual, en lo que a jueces se refiere. En segundo

lugar, en tres de los cuatro caracteres analizados se situaron las medias correspondientes a los 7 y 8 años, aspecto muy positivo para el programa de mejora, por ser la edad en la que los animales pueden llegar a ser considerados reproductores mejorantes y además de ello muestran un valor superior a la media de la población. Por otro lado, es destacable observar la presencia importante de los animales jóvenes, encontrándonos con un gran número de observaciones registradas entre la edad de 1 a 5 años, rango de edad que abarcó el 84% de los registros productivos de la base de datos. Bartolomé y cols. (2008) informaron que la edad del animal es un factor que está muy relacionado con su rendimiento funcional o deportivo, estando condicionado por el tiempo en competición, su nivel de madurez y de entrenamiento. Resultados en otras razas, muestran la influencia de la edad en el momento de la competición y en su posterior rendimiento. Preisinger y cols. (1991) consideraron como efecto sistemático la edad de los potros de raza Trakehner, para la que reportó la existencia de diferencias respecto a la edad de desarrollo y la conformación en el momento del juzgamiento. Además, Valera y cols. (2005) pusieron de manifiesto que habitualmente los animales jóvenes reciben las puntuaciones más bajas, mientras los de mayor edad reciben las más altas. Estas diferencias también pueden reflejar la actitud de los jueces a la hora de juzgar ejemplares jóvenes o de edad avanzada (Suontama 2012). Así mismo, Varo (1965) mostró que las yeguas Finnhorse de mayor edad eran inferiores a las yeguas jóvenes en los caracteres medidos subjetivamente. El efecto de la edad sobre el rendimiento de los animales ha sido probada en muchas especies, hecho que hace que la edad sea habitualmente incluida en los modelos de análisis (Suontama y cols., 2009; Schroderus y Ojala 2010; Sánchez y cols., 2013; Vicente y cols., 2014).

Analizando los resultados del rendimiento en todos los caracteres en función del *juez*, se aprecia la existencia de un elevado número de jueces, sin embargo, muchos de ellos poseen menos de 50 observaciones; existiendo tan solo un 24% de los jueces que valoran de manera continuada a los ejemplares. No obstante, esta información debería ser tomada en cuenta a la hora de preparar y depurar los datos y considerar la posibilidad de eliminar el número de jueces con menos observaciones. Teniendo en cuenta los coeficientes de variación de los jueces, observamos una gran variabilidad, lo que nos advierte de importantes efectos de subjetividad en las calificaciones, especialmente en

los jueces que menos actúan, que presumiblemente son los menos formados y experimentados. Por tanto, la importancia que ejercen los jueces sobre los resultados de los caballos está más que probada como lo describen muchos autores de trabajos realizados en otras razas (Preisinger y cols., 1991; Saastamoinen 1993; Schroderus 2006).

2.5.2.- Análisis Multifactorial.

Observando los resultados del análisis multifactorial, vemos como todos los factores a excepción de la época de valoración resultaron significativos para el carácter armonía; mientras que en el paso fueron no significativos el factor sexo y la época de valoración; en el caso del trote todos los factores a excepción del factor sexo arrojaron significancia ($P < 0,01$); y por último, en el movimiento galope todos los factores incluidos fueron significativos ($P < 0,01$).

Como cabía esperar, la distribución de los efectos fue bastante homogénea entre las variables estudiadas, siendo quizás el sexo y la época de valoración los que mostraron más fragilidad y que pudieran excluirse en el diseño de los modelos genéticos de evaluación.

Respecto al coeficiente de determinación, la media para todos los caracteres se situó en torno al 34%, indicándonos la adecuada definición del modelo en cada una de las variables. Realizando una comparativa con otro estudio, Holmström (1993) referenció un coeficiente de determinación del 36,94%, 41,58%, 32,41% y 31,97% para la impresión general, paso, trote y galope, respectivamente, resultados muy cercanos a los encontrados aquí en el HÁ.

2.5.3.- Análisis Unifactorial.

Al analizar individualmente los efectos cuya influencia fue significativa sobre cada uno de los caracteres tenidos en cuenta, encontramos que la **ganadería** explica la mayor parte de la varianza total, representando el 24% en el carácter armonía. Para los aires de paso, trote y galope osciló entre el 15% al 17%. El potente efecto de la ganadería ha sido referenciado en todas las especies como uno de los efectos más destacados sobre cualquier tipo de variable, sirvan los ejemplos de Camacho (2002) y León (2008) en las

razas caprinas Tinerfeña y Murciano-Granadina, respectivamente donde encontraron porcentajes de varianza explicada por la ganadería por encima del 30%. Sin embargo, en el caballo PRE la varianza explicada para la ganadería sobre la impresión general fue inferior, representando solo un 6,51% (Valera *y cols.*, 2005). Así mismo, Sountama (2012) encontró que el efecto de la ganadería fue altamente significativo tanto en los potros de la raza Finnhorse como en la Standardbred. Esto pone de manifiesto que el efecto que ejercen las ganaderías sobre las medidas morfológicas y de conformación puede deberse a la influencia de las condiciones ambientales sobre el crecimiento de los animales y por lo tanto, existen diferencias entre ganaderías. Así mismo León *y cols.* (2004) informó que bajo este efecto se anidan otros factores como la alimentación, el manejo o el microclima imperante.

También es destacable la influencia del efecto del **juez** sobre todas las variables, llegando a representar alrededor del 23% de la varianza explicada en cada criterio. Resultados inferiores fueron encontrados en el Pura Raza Español, situándose alrededor del 12% de la varianza explicada para el paso, trote y galope, lo que indica la gran influencia que de manera significativa ejercen los jueces sobre las puntuaciones (Valera *y cols.*, 2005). Esto pone de manifiesto la subjetividad de las observaciones emitidas por los jueces, ya que el sistema de evaluación empleado se basa en la comparación directa del animal a evaluar con el animal "ideal" de cada juez (además de otros factores que puedan condicionar esta puntuación y que son ajenos al propio animal, como podría ser el prestigio de la ganadería del animal en evaluación). Sin embargo, nuestros resultados discrepan con los de Holmström *y cols.* (1990) y Jakubec *y cols.* (1999) que informaron que la edad y el sexo tuvieron una gran influencia sobre los caracteres de conformación. En tanto, acordes a lo que Preisinger *y cols.* (1991) señalaron que los jueces tuvieron el mayor efecto en la puntuación en comparación con otros efectos no genéticos. Por consiguiente, el juez posee un efecto muy significativo sobre las puntuaciones, explicando la mayor parte de la varianza fenotípica (Valera *y cols.*, 2005).

Así mismo, es también destacable el efecto del **tipo de prueba**. Llama la atención que representa entre el 9% al 15 % de la varianza total encontrada en los movimientos, mientras que para la armonía tan solo significó un 4%, resultado posiblemente atribuido

al estar menos influenciada por la competitividad en las pruebas donde está presente. Comparándolo con otra raza nacional, en los caracteres del movimiento del PRE la varianza total explicada por el factor concurso representó solo el 2,53%, mientras que para la interacción concurso-juez el resultado fue similar (12%) a lo reportado en el presente estudio (Valera y cols., 2005). Estudios desarrollados en otras razas sugieren la inclusión de este factor en el modelo de análisis. Factores ambientales tales como la formación, las superficies de la arena y el equipo de montar pueden haber cambiado de forma sistemática durante el período de la prueba, y por lo tanto deben ser corregidos (Jönsson y cols., 2014). El efecto altamente significativo del tipo de prueba sugiere que los esfuerzos deben ser conducidos hacia una mayor normalización de las pruebas y por lo tanto, esto redundaría en una mejora de las evaluaciones genéticas (Jönsson y cols., 2014).

Por último, es también destacable el efecto concerniente al **grupo de manejo** que abarcó a nivel individual una media del 4% de la varianza explicada en cada criterio. Los demás factores se encontraron en un rango comprendido entre 0,3% y el 5% de varianza explicada.

2.6.- CONCLUSIONES

- El caballo Hispano – Árabe presenta unos rendimientos aceptables para el carácter armonía y los movimientos de paso, trote y galope en el ámbito de las razas equinas nacionales e internacionales.
- El rendimiento productivo de los caracteres analizados pone de manifiesto la existencia de una baja variabilidad fenotípica y con ello unas perspectivas para el progreso genético no muy optimistas, si bien los modelos genéticos determinarán los niveles de varianza genética existentes y determinarán las posibilidades de mejora genética de los caracteres medidos.
- Los resultados encontrados respecto al coeficiente de determinación indican una adecuada definición del modelo de análisis en cada una de las variables estudiadas, explicando la mayor varianza debida a factores no genéticos.
- El efecto de la ganadería, el juez y el tipo de prueba explican la mayor proporción de la varianza, en comparación con el resto de factores. Situación motivada por los

efectos vinculados al animal como son el manejo, la alimentación y la calidad genética; así como a efectos relacionados con la prueba, es decir el juez, concurso, condiciones de las pistas.

- La diferencia existente entre los jueces sugiere que los caracteres deben ser evaluados de acuerdo a un esquema de juzgamiento estandarizado. A fin de mejorar la utilidad de la conformación y las características funcionales en los programas de mejoramiento se recomienda juzgar los animales sobre la base de la variación biológica utilizando para ello una escala lineal.
- La escala de valoración actual se considerada estrecha y ésta puede conllevar una deficiente relación entre la escala numérica y la escala biológica del carácter que puede repercutir en la evaluación de la calidad real de los animales juzgados, derivando en un sesgo importante de la estimación de los componentes de la varianza. Por tanto, es recomendable que los jueces utilicen toda la escala de evaluación.

2.7.- BIBLIOGRAFÍA


- Analla M. (1996) Valoración genética de reproductores y selección de ovino Segureño. Un estudio de simulación. In: *ETSIAM*. Universidad de Córdoba, Córdoba, España.
- Analla M., Muñoz A., Cruz J.M. & Serradilla J.M. (1995) Estimation of genetic parameters of growth traits in Segureña lambs. *Journal of Animal Breeding and Genetics* **112**, 183-90.
- Aparicio J.B. (1997) Morphological contests and its importance in the selection. In: *The Spanish horse* (ed. by Junta-de-Andalucía), pp. 23-4, Seville, Spain.
- Arnason T. (1984) Genetic studies on conformation and performance of Icelandic Toelter Horse. *Acta Agriculturae Scandinavica* **34**, 409 - 27.
- Arnason T. & Van Vleck L.D. (2000) Genetic Improvement of the Horse. In: *The Genetics of the Horse* (eds. by Bowling A & Ruvinsky A), pp. 473-95. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Barazandeh A., Moghbeli S., Vatankhah M. & Mohammadabadi M. (2012) Estimating non-genetic and genetic parameters of pre-weaning growth traits in Raini Cashmere goat. *Tropical Animal Health and Production* **44**, 811-7.
- Bartolomé E., Cervantes I., Gómez M.D., Molina A. & Valera M. (2008) Influencia de los factores ambientales en el rendimiento deportivo del caballo en pruebas objetivas de rendimiento funcional (Salto de Obstáculos). *ITEA-Información Técnica Económica Agraria* **104**, 262-7.
- Becker A.-C., Stock K.F. & Distil O. (2011) Genetic correlations between free movement and movement under rider in performance tests of German Warmblood horses. *Livestock Science* **142**, 245-52.

- Becker A.-C., Stock K.F. & Distl O. (2013) Correlations of unfavorable movement characteristics in warmblood foals and mares with routinely assessed conformation and performance traits. *Animal* **7**, 11-21.
- Bhatnagar A.S., Lewis R.M., Notter D.R., Schacht C. & Splan R.K. (2011) Genetic parameters of foal inspection scores for two North American sporthorse registries. *Livestock Science* **140**, 88-94.
- Butler I.V. (1987) Genetic parameters for conformation traits in the Bavarian heavy horse 'Slid- deutsches Kaltblut'. In: *38th Annual Meeting of the European Association for Animal Production, vol. 2*, p. 1350, Lisbon, Portugal.
- Camacho M.E. (2002) Estudio de la variabilidad fenotípica y genética de los caracteres productivos del tipo Tinerfeño de la Agrupación Caprina Canaria. In: *Departamento de Genética*. Universidad de Córdoba, Córdoba, España.
- Carballo J.A. & Moreno T. (2006) Características cuantitativas de las canales de vacas de desecho en Galicia. *Archivos de Zootecnia* **55**, 339-50.
- Delgado J.V., León J.M., Gómez M.M. & Fernández J. (2012) Reglamentación Específica del Libro Genealógico y del Programa de Mejora del Caballo de Pura Raza Hispano-Árabe. In: *BOE 175*, pp. 1 - 24., Madrid
- Delgado J.V., Vega-Pla J.L., León J.M., Rodríguez de la Borbolla A., Vallecillo A. & Cabello A. (2005) Program of Genetic Management of the Hispano-Árabe Horse Breed. *Archivos de Zootecnia* **54**, 273-6.
- Ducro B.J., Koenen E.P.C., Van Tartwijk J.M.F.M. & Van Arendonk J.A.M. (2007) Genetic relations of First Stallion Inspection traits with dressage and show-jumping performance in competition of Dutch Warmblood horses. *Livestock Science* **107**, 81-5.
- Fernández G., Valera M. & Molina A. (1998) La valoración morfológica lineal en el caballo de Pura Raza Española. *Avances en Alimentacion y Mejora Animal* **38**, 7-10.
- Gemiyo D., Abebe G. & Tegegne A. (2014) Influences of non-genetic factors on early growth of Adilo lambs under smallholder management systems, southern Ethiopia. *Tropical Animal Health and Production* **46**, 323-9.
- Gerber Olsson E., Árnason T., Näsholm A. & Philipsson J. (2000) Genetic parameters for traits at performance test of stallions and correlations with traits at progeny tests in Swedish warmblood horses. *Livestock Production Science* **65**, 81-9.
- Gómez M.D., Valera M., Cervantes I., Vinuesa M., Peña F. & Molina A. (2006) Development of a linear type trait system for Spanish Purebred horses (preliminary analysis). In: *57th Annual Meeting of the European Association for Animal Production, vol. 12*, Antalya, Turkey.
- Gootwine E. & Pollott G.E. (2000) Factors affecting milk production in Improved Awassi dairy ewes. *Animal Science* **71**, 607-15.
- Holmström M., Magnusson L.E. & Philipsson J. (1990) Variation in conformation of Swedish warmblood horses and conformational characteristics of elite sport horses. *Equine Veterinary Journal* **22**, 186-93.
- Holmström M. & Philipsson J. (1993) Relationships between conformation, performance and health in 4-year-old Swedish Warmblood Riding Horses. *Livestock Production Science* **33**, 293-312.
- Huizinga H.A., van der Werf J.H.J., Korver S. & van der Meij G.J.W. (1991) Stationary performance testing of stallions from the Dutch Warmblood riding horse population. 1. Estimated genetic parameters of scored traits and the genetic

- relation with dressage and jumping competition from offspring of breeding stallions. *Livestock Production Science* **27**, 231-44.
- Iloeje M.U., Rounsaville T.R., McDowell R.E., Wiggans G.R. & Van Vleck D. (1980) Age-season adjustment factors for Alpine, La Mancha, Nubian, Saanen and Toggenburg dairy goats. *Journal Dairy Science* **63** 1309-16.
- Jakubec V., Schlote W., Jelínek J., Scholz A. & Zális N. (1999) Linear type traits analysis in the genetic resource of the Old Kladrub Horse. *Archiv fur Tierzucht* **43**, 215-24.
- Janssens S. & Vandepitte W. (2004) Genetic parameters for body measurements and linear type traits in Belgian Bleu du Maine, Suffolk and Texel sheep. *Small Ruminant Research* **54**, 13-24.
- Jönsson L., Näsholm A., Roepstorff L., Egenvall A., Dalin G. & Philipsson J. (2014) Conformation traits and their genetic and phenotypic associations with health status in young Swedish warmblood riding horses. *Livestock Science* **163**, 12-25.
- Koenen E.P.C., Vanveldhuizen 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. *Livestock Production Science* **43**, 85-94.
- León J.M. (2008) Evaluación del Esquema de Selección de la raza caprina Murciano-Granadina. Cap. II: Evaluación de los parámetros productivos de la raza caprina Murciano-Granadina. In: *Departamento de Genética*. Universidad de Córdoba, Córdoba, España.
- León J.M., Quiroz J., Lozano J.M., Camacho M.E., Gómez M.S., Martínez E. & Alonso A. (2004) Influencia de la región, año y época de parto en la producción y composición de la leche de cabras Murciano-Granadinas. In: *V Simposio Iberoamericano sobre la conservación y utilización de recursos zoogenéticos* (ed. by CONBIAND), pp. 244-7, Puno, Perú.
- Patterson M., Carron A.V. & Loughead T.M. (2005) The influence of team norms on the cohesion-self-reported performance relationship: a multi-level analysis. *Psychology of Sport and Exercise* **6**, 479-93.
- Posta J., Komlósi I. & Mihók S. (2010) Genetic parameters of Hungarian sport horse. Mare performance tests. *Animal Science Papers and Reports* **28**, 373-80.
- Preisinger R., Wilkens J. & Kalm E. (1991) Estimation of genetic-parameters and breeding values for conformation traits for foals and mares in the Trakehner population and their practical implication. *Livestock Production Science* **29**, 77-86.
- Saastamoinen M.T. (1993) *Effect of month of birth, month of judging, and sex of the horse on conformation score, size and growth of young horses in Finland*. Horse breeding and production in cold climatic regions, Reykjavik, Iceland.
- Sánchez M., Fernández E., Martí D. & Muñoz E. (2006) Influencia de época y número de parto en los parámetros de producción y calidad de leche en la Raza Florida. In: *Actas de las XXXI Jornadas Científicas y X Internacionales de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia*, pp. 191-4, Zamora, España.
- Sánchez M.J., Gómez M.D., Molina A. & Valera M. (2013) Genetic analyses for linear conformation traits in Pura Raza Español horses. *Livestock Science* **157**, 57-64.
- Sanders K., Bennewitz J. & Kalm E. (2006) Wrong and Missing Sire Information Affects Genetic Gain in the Angeln Dairy Cattle Population. *Journal Dairy Science* **89**, 315-21.
- SAS I. (2009) What's New in SAS® 9. 2. Cary, NC: SAS Institute Inc.

- Schroderus E. (2006) Estimates of genetic parameters for Finnhorse and Standardbred trotter foals. In: *Department of Animal Science*. University of Helsinki, Helsinki, Finlandia.
- Schroderus E. & Ojala M. (2010) Estimates of genetic parameters for conformation measures and scores in Finnhorse and Standardbred foals. *Journal of Animal Breeding and Genetics* **127**, 395-403.
- Singh R.N., Acharya R.M. & Biswas D.K. (1970) Evaluation of genetic and nongenetic factors affecting some economic traits in goat. *Acta Agriculturae Scandinavica* **20**, 10-4.
- Stewart I.D., White I.M.S., Gilmour A.R., Thompson R., Woolliams J.A. & Brotherstone S. (2012) Estimating variance components and predicting breeding values for eventing disciplines and grades in sport horses. *Animal* **6**, 1377-88.
- Stock K.F. & Distl O. (2007) Genetic correlations between performance traits and radiographic findings in the limbs of German Warmblood riding horses. *Journal of Animal Science* **85**, 31-41.
- Suárez M.V., Barba C., Forero F., Sereno J.R.B., Diéguez E. & Delgado J.V. (2002) Caracterización reproductiva de varias razas porcinas de origen Ibérico. I. Análisis descriptivo. *Archivos de Zootecnia* **51**, 245-8.
- Suomen-Hippos (2004) Breeding regulations of the Finnhors. URL www.hippos.fi.
- Suontama M. (2012) Genetic analysis of foal and studbook traits in selection for racing performance in trotters. University of Helsinki, Helsinki, Finlandia.
- Suontama M., Saastamoinen M.T. & Ojala M. (2009) Estimates of non-genetic effects and genetic parameters for body measures and subjectively scored traits in Finnhorse trotters. *Livestock Science* **124**, 205-9.
- Valera M., Gessa J.A., Gómez M.D., Horcada A., Medina C., Cervantes I., Goyache F. & Molina A. (2005) Preliminary analysis of the morphofunctional evaluation in horse-show of the Spanish Purebred (Andalusian) horse. In: *56th Annual Meeting of the European Association for Animal Production*, pp. 5-8. European Association for Animal Production, Uppsala, Sweden.
- Valls M. (1977) La selección de las poblaciones locales de ovinos destinados a la producción de carne. (ed. by INIA P-A), pp. 5-50, Madrid, España.
- Van Bergen H.M.J.M. & Van Arendonk J.A.M. (1993) Genetic-parameters for linear type traits in Shetland ponies. *Livestock Production Science* **36**, 273-84.
- Varo M. (1965) Some coefficients of heritability in horses. *Annales Agriculturae Fenniae* **4**, 223-37.
- Vicente A.A., Carolino N., Ralão-Duarte J. & Gama L.T. (2014) Selection for morphology, gaits and functional traits in Lusitano horses: I. Genetic parameter estimates. *Livestock Science* **164**, 1-12.
- Viklund Å., Braam Å., Näsholm A., Strandberg E. & Philipsson J. (2010) Genetic variation in competition traits at different ages and time periods and correlations with traits at field tests of 4-year-old Swedish Warmblood horses. *Animal* **4**, 682-91.
- Viklund Å., Näsholm A., Strandberg E. & Philipsson J. (2011) Genetic trends for performance of Swedish Warmblood horses. *Livestock Science* **141**, 113-22.
- Viklund A., Thorén Hellsten E., Näsholm A., Strandberg E. & Philipsson J. (2008) Genetic parameters for traits evaluated at field tests of 3- and 4-year-old Swedish Warmblood horses. *Animal* **2**, 1832-41.

- Wallin L., Strandberg E. & Philipsson J. (2003) Genetic correlations between field results of Swedish Warmblood Riding Horses as 4-years-old and lifetime performance results in dressage and show jumping. *Livestock Production Science* **82**, 61-71.
- Whitaker T.C., Olusola O. & Redwin L. (2008) The influence of horse gender on eventing competition performance. *Comparative Exercise Physiology* **5**, 67-72.



Capítulo III: GENETIC PARAMETERS FOR HARMONY
AND GAITS IN HISPANO-ARABE HORSES ESTIMATED
BY RESTRICTED MAXIMUM LIKELIHOOD AND
BAYESIAN METHODS

3.1.- ABSTRACT

Data on harmony and gaits (walk, trot and canter) collected in the Hispano-Arabe horse breed were analyzed by mixed model procedures to obtain estimates of genetic parameters. The data set included 12957 records of 901 animals, collected in a period of 14 years (2000 to 2014). The scoring data for those traits had a distribution that was close to normality, which was analyzed with mixed models, by Restricted Maximum Likelihood and by Bayesian procedures (Gibbs sampling). The same multivariate animal models with repeated records were used, including the fixed effects of management group, sex, combination of year and event of evaluation, season of evaluation, and the linear covariates age at classification and proportion of Arabian genes. The random effects included in the model were the additive genetic effect and the permanent environmental effect of the animal and the judge effect. The REML estimates of heritabilities/repeatabilities were 0.16/0.35, 0.07/0.17, 0.10/0.25 and 0.13/0.21 for harmony, walk, trot and canter, respectively. When Bayesian analyses were used, the estimated heritabilities/repeatabilities for the same traits were 0.18/0.35, 0.10/0.18, 0.13/0.27 and 0.13/0.20. Standard errors of heritabilities ranged from 0.02 to 0.05, and were similar in both methods. The additive genetic correlations between the traits analyzed were all positive, ranging from 0.46 to 0.93 (standard errors from 0.11 to 0.20) in REML analyses and from 0.45 to 0.83 (standard errors from 0.05 to 0.17) in Gibbs sampling analyses. With both methods, the correlations of harmony with trot and canter were higher than the correlations between walk and trot. Overall, the differences between genetic parameters estimated by REML or Bayesian procedures were negligible for the data set analyzed, but considering that, these traits are not strictly normally distributed, the Bayesian approach might be more appropriate for the estimation of genetic parameters and prediction of breeding values.

Keywords: horse, conformation, movement, REML, Bayesian Inference.

3.2.- INTRODUCTION

The Hispano-Arabe horse (HA) is a breed obtained over centuries by fixation after crossbreeding between purebred Arab and Spanish horses in the Andalusian region (Southern Spain). Presently, the HA is recognized to have a clearly functional utilization

as a saddle-horse, with good sports aptitude in different competitions and sports disciplines (dressage, raid, jumping, etc.). Because of the reduced census of the breed and the small number of animals competing until now, the information available on sports events is limited, which has so far hindered the ability to carry-out a routine genetic evaluation based on sports performance. However, given their relationship with performance in different sports disciplines, traits such as gaits and harmony can be used as indicator traits, which could support selection decisions. This relationship has been shown in Lusitano horses (Vicente *et al.* 2014a), but the information available so far in HA horses is still scarce to establish a clear relationship between harmony, gaits and sports performance.

Traditionally, HA broodmares and stallions have been scored by visual assessment, and selection is essentially based on morphological aspects. In the last few years, recording in the current breeding program has been more systematic, and is based on visual scoring of different conformation and movement traits, which are thought to be related to functionality, in an attempt to assess the general abilities of the horse. The traits currently considered are the harmony (global score), reflecting the overall conformation of the horse, and gait scores (separate scores for walk, trot and canter), which represent its movement ability.

In recent years, Bayesian methods have emerged as an option for solving problems related to the estimation of genetic parameters and prediction of genetic merit in animal populations. In this framework, Markov Chain Monte Carlo (MCMC) methods, including Gibbs Sampling, may be used as a tool for Bayesian inference. Gibbs sampling is a stochastic integration procedure used to estimate joint and marginal distributions of all parameters in a model from their full conditional posterior distributions. This method has been suggested for use in animal breeding, particularly when data does not strictly fit a normal distribution (Sorensen *et al.* 1994; Van Tassel & Van Vleck 1996; Faria *et al.* 2007), which is often the case for scores applied to horse conformation and gait traits.

Genetic parameters reported for conformation and gait traits indifferent horse breeds have revealed heritability estimates in the range of 0.20 (Christmann *et al.* 1995) to 0.30 (Albertsdóttir *et al.* 2008) for harmony, 0.08 to 0.43 for walk, 0.16 to 0.49 for trot

and 0.17 to 0.37 for canter (Viklund *et al.* 2008; Schroderus & Ojala 2010). Moreover, the genetic correlations between conformation and gaits are usually reported to be positive and moderate to high, in the range of 0.34 to 0.93 (Ducro *et al.* 2007a; Vicente *et al.* 2014a), indicating that both groups of traits can be selected simultaneously. On the other hand, inconsistent results have been reported in various horse breeds regarding the genetic relationship between conformation and gaits or functionality. (Koenen *et al.* 1995; Ducro *et al.* 2009). Briefly, this inconsistency could result from different ways of scoring conformation in various breeds, but also from the specific functional traits that are being favoured by the breeding program.

In summary, most estimates point towards a low to intermediate genetic correlation between morphological traits and functional ability in dressage events (Wallin *et al.* 2003), which tends to be higher when the correlation between gaits and dressage ability is considered (Wallin *et al.* 2003; Ducro *et al.* 2007b).

In most investigations considering morphology and gaits in horse, the analyses have been performed using REML methods. Nevertheless, these scores in horses usually do not have a normal distribution, which may raise some questions regarding the suitability of the parameters estimated so far, as these often assume the normality of the distribution of records.

In this work, we estimated genetic parameters for harmony and gaits in the HA horse, as a first step to set up an organized breeding program in the HA. Two distinct approaches were used, i.e., Restricted Maximum Likelihood and Bayesian Methods, in order to detect possible discrepancies in the estimated parameters, as the two analytical approaches may result in different estimates, especially, when the traits are not perfectly adjusted to the normal distribution. This research is essential to supply the genetic improvement program of the HA with accurate parameter estimates, but can also be of interest for other analyses where quasi-normal variables are evaluated, especially in horse scoring traits evaluated by qualified judges.

3.3.- MATERIAL AND METHODS

3.3.1.- Data description

This work was carried out with data made available by the Hispano-Arabe Breeders Association, collected in the framework of its breeding program. Overall, the data set included pedigree records on 3540 animals, while the scoring data set included 12957 records of 901 animals evaluated between 2000 and 2014 (2003 without records). The scores were from horses evaluated in connection with the registration in the studbook or in morpho-functional competitions which take place 3 to 7 times per year. When they are evaluated, either in the farm of origin or in competitions, animals are presented in-hand, and in both cases they are scored by 1 to 3 official judges, who give them scores (scale 1-10) on traits of conformation and gaits.

The score given by each judge was considered as a distinct trait observation, and the total number of observations per trait and sex was as shown in **Table 3.1**. The data set analysed was characterized by a large number of studs with very few animals per stud (mostly 1 to 5 individuals), which could hinder the estimation of the stud source of variation. To overcome this difficulty, management groups (n=17) were defined according to the production level of studs, by clustering studs enclosed in ranges of the four traits combined mean performances. The breed history of the HA implies variation in the number and proximity of Arabian ancestors and accordingly different levels of heterosis. To account for that, the proportion of Arabian genes was considered in the analyses as a linear covariate.

3.3.2.- Trait description

Harmony is a visual valuation of the body structure of the animal, and is often called "Overall impression". An adequate proportionality among all the body components results in the maximum scoring (10 points), while serious disproportions compromising the horse capacities will lead to the minimum scoring (1 point). At the time of registration, a minimum score of 6 is required for animals to be enrolled in the Studbook. Gaits scoring is attributed to three items. Walk, is the relaxed movements when the horse starts its dynamic, and a balanced movement in this gait indicates good aptitude to interact with the rider and is pointed with the maximum scoring, while progressive misbalancing

produces a reduction in the scoring. Trot and Canter are stronger movements, such that the first is a smooth run related to the ability for dressage and other high school disciplines. Canter is an extreme run more related to sprint and resistance competitions, such as raid, jumps, among others. Both traits receive a maximum scoring when balanced movements are shown, while misbalancing progressively reduces the scoring. Animals are scored by qualified judges, who have homogeneous criteria demonstrated in periodical qualification courses, and recycling journeys.

3.3.3.- Statistical and genetic analyses

Descriptive statistics and tests of normality were conducted using the Univariate procedure of software package SAS 9.2 (SAS 2009). Data distribution was tested in order to check their fitting to a normal distribution. As a consequence of this assessment, a slight deviation from normality was detected in most traits, which suggests that the use of Bayesian methods may yield better results than the conventional BLUP/REML, given the better capacity of Bayesian methods when in presence of data distribution not perfectly fitted to the normality (Sorensen *et al.* 1994; Van Tassel & Van Vleck 1996).

The analyses of variance were carried-out in PROC MIXED of the software package SAS 9.2 (SAS 2009) to assess the significance of various fixed effects, affecting the traits analysed in our experience, with a view to define which of these effects should be taken into account in the definition of the mixed models used afterwards as was describes in chapter two of the present manuscript. The goal of these preliminary analyses was to assess the importance of fixed effects for harmony and gait traits in Hispano-Arabe horses, which could indicate the need to include them in the mixed-model analyses carried-out for genetic parameters estimation. The fixed effects considered in the analyses of variance were management group, sex, combination of year and event (yearly horse concentrations), season of evaluation, plus the effect of age at qualification (considered as linear and quadratic covariate) and the proportion of Arabian genes influence (fitted as a linear covariate). The effect of the judge was included as a random source of variation in mixed model analyses, due to the high number of judges participating in the program. Factors presenting a significant effect in these preliminary

analyses were later retained to be included as fixed effects in mixed model analyses carried out to estimate variance components and predict breeding values.

Genetic parameters for the traits analysed were estimated by both Restricted Maximum Likelihood (REML), as is common practice in horse breeding programs (Rustin *et al.* 2009; Suontama *et al.* 2011; Vicente *et al.* 2014a) and by Gibbs Sampling (GS), which is a methodology recommended when the fitness of the traits to the normal distribution is not perfect. This situation is rather common in many horse breeding programs, particularly those where the traits analyzed are visual scores (Van Tassel & Van Vleck 1996; Faria *et al.* 2007). The following multitrait animal model was used to estimate (co) variance components, and the corresponding heritability, repeatability and correlations for the traits under study. After parameters were estimated, breeding values were predicted following the same linear model:

$$y_{ijklmnop} = \mu + MG_i + Sex_j + YE_k + S_l + b_1 G_m + b_2 A_n + b_3 A_n^2 + Animal_o + PE_o + J_p + e_{ijklmnop}$$

where $y_{ijklmnop}$ is the score of each trait for a given horse; μ is the overall mean; MG_i is the fixed effect of the i^{th} management group ($i=1,\dots,17$), Sex_j is the fixed effect of the j^{th} sex ($j = \text{male, female}$); YE_k is the fixed effect of the k^{th} combination of year and event of evaluation ($k = 1,\dots,52$); S_l is the fixed effect of the l^{th} season of evaluation ($l = 1,\dots,4$); b_1 is the linear regression coefficient on the percentage contribution of Arabian genes (G_m), b_2 and b_3 are the linear and quadratic regression coefficients on age of evaluation (A_n), $Animal_o$ is the random additive genetic effect of the o^{th} horse, PE_o is its permanent environmental effect, J_p is the random effect of the p^{th} judge ($n = 33$) and $e_{ijklmnop}$ is the random residual effect.

3.3.4.- Pedigree information

The full relationship matrix was used in the mixed model analyses, with a total of 3540 individuals, of which 1262 were HA and 2278 were purebred Arab and Spanish horses that are represented in the pedigree of current HA horses. Pedigrees were shallow, with an average of 2.5 equivalent generations known. A short depth in the pedigree could affect the reliability of estimated genetic parameters for the traits under

analyses. Nevertheless, the pedigree completeness in the breed analyzed indicates that all animals have known parents, and 86% and 75% of the ancestors are known in the second and third generation, respectively. The limited amount of pedigree information is not uncommon in other horse breeds, which have nevertheless breeding programs underway (Stock & Distl 2006; Bhatnagar *et al.* 2011; Solé *et al.* 2014).

3.3.5.- Software

The WOMBAT package of Meyer (2007) was used for estimation of genetic parameters and the corresponding standard errors, by restricted maximum likelihood. On the other hand, the Multiple Trait Gibbs Sampling for Animal Models (MTGSAM) program of Van Tassell and Van Vleck (2001), was used for estimation of variances and covariances by mean of Bayesian methods. A single chain of 500000 cycles was obtained, 50000 of which were discarded (burn-in), and thinning intervals of 200 cycles were used to retain sampled values which reduced the lag correlation among thinned samples. In both analyses the convergence criterion used was that the change in the Log-likelihood of the function in successive iterations was less than 10^{-9} .

Heritability and repeatability estimates were directly obtained from the REML estimates in WOMBAT, while for Bayesian methods those genetic parameters were computed from the posterior mean of variance and covariance components obtained with the MTGSAM Software. The standard error of heritability in the Bayesian analyses was estimated as the standard deviation of the solutions obtained in the iterative process (2250 solutions), while the standard error of repeatability was calculated as in Van Vleck *et al.* (1960). The standard error of genetic correlations in Bayesian analyses was obtained as in Falconer and MacKay (1996).

3.3.6.- Comparison of methodologies

In order to detect differences in the performance of both methodologies, which could possibly support the better suitability of the Bayesian methods relative to REML, the behavior of the two methodologies was assessed by comparing the magnitude of genetic parameters and the corresponding precision. Moreover, the predicted breeding values (BV) computed by both methods for all animals in the relationship matrix were compared by estimating their correlation, systematic deviation and genetic trend all

animals in the relationship matrix. These comparisons should allow an assessment of the consistency of results obtained by both methods, as reported by Viklund *et al.* (2010) for Swedish Warmblood riding horses.

3.4.- RESULTS

3.4.1.- Descriptive statistics

Basic descriptive statistics obtained for the traits harmony, walk, trot and canter are shown in **Table 3.2**. The grading system for the traits analysed varies in a scale ranging between 1 and 10 points. But in reality the qualifiers restrict their evaluations to a scale essentially ranging between 4 and 10 points and visual observation indicated that the distribution of scores was not too far from normality. Deviation from the normal distribution was slight, with values for kurtosis ranging from -0.04 to 1.4, and most of the traits were somewhat skewed to the left (**Figure 3.1**). Overall, the variability observed for the four traits analysed was moderate, with coefficients of variation of about 10 percent.

3.4.2.- Fixed effects

The preliminary univariate analyses of variance indicated that, depending on the trait considered, the fixed effects considered in the models explained about 0.29 to 0.39 (R^2) of the total phenotypic variability, with the effects MG and YE explaining most of the variability (results not shown). The solutions for fixed effects in the mixed models were obtained simultaneously with the estimation of genetic parameters, and the results reported here are those obtained by REML, because differences between fixed effects estimated by the two methodologies were minor.

The solutions of the best linear unbiased estimators (BLUE) of fixed effects are shown in **Table 3.3**. The difference between sex fixed effects for the traits analysed indicates that, on average, males tended to receive higher scores than females for all traits analysed, but the difference was significant ($P < 0.05$) only for canter. The solutions for the season of qualification are presented in **Table 3.3**, using spring as the reference season. The lowest mean scores were attributed to animals qualified in the spring, with larger differences ($P < 0.05$) for harmony in horses judged in the summer and winter, and for canter in horses judged in the autumn. Overall, as age increased, a slight decline in scoring was observed for walk and canter, and a slight increase for trot. The contribution

of Arabian genes generally had a positive effect on all traits analysed, which was nonetheless only significant for walk ($P < 0.05$), where an approximate increase of nearly 0.002 points was observed when the contribution of Arabian genes increased by 1% (**Table 3.3**). Differences between the environmental effect of management groups were minor but significant. The differences between year-event combinations were somewhat larger, especially for canter, but did not show a clear pattern of change over time (results not shown).

3.4.3.- Variance components

In REML, the estimated genetic variance was highest for harmony and trot, lowest for walk and intermediate for canter (**Table 3.4**). In GS, the estimates were slightly higher than in REML, even though the difference between the genetic variance for a given trait estimated by the two methods was not large. The variance of permanent environmental effects (**Table 3.4**) was higher for harmony and trot, but this variance component was substantially lower for canter. The variability among judges was important for all traits analysed, and was especially large for trot, and smaller for harmony. Overall, when REML estimates were considered, the variance among judges accounted for a percentage of the phenotypic variance which ranged from about 22% for harmony to 32% for walk.

3.4.4.- Heritability and repeatability estimates

The heritability and repeatability estimates with corresponding standard errors, obtained by applying a multitrait Animal Model under both REML and Bayesian methods, are in **Table 3.5**. Heritability estimates obtained by REML were 0.16 for harmony, slightly lower for canter (0.13), while walk and trot had estimates of 0.07 and 0.10, respectively. When heritability was estimated with the Bayesian methodology, the results were generally very close, but slightly larger, than those obtained by REML. Overall, the ranking of heritability estimates for the different traits estimated by GS remained the same, with estimates of 0.18 for harmony, intermediate for trot and canter (0.13) and lowest for walk (0.10). Standard errors of heritabilities for all traits were low with both methodologies, ranging from 0.02 to 0.05. Repeatability estimates in REML analyses (**Table 3.5**) were around 0.35 for harmony, 0.25 for trot, 0.21 for canter and 0.17 for

walk. Bayesian estimates of repeatability were similar to those obtained with REML, as were their standard errors (Table 3.5).

3.4.5.- Phenotypic and genetic correlations

The estimated genetic and phenotypic correlations among the harmony and movement traits analysed are given in Table 3.5 for REML and Bayesian estimates. In general, the REML estimates of genetic correlations among the four traits studied were positive and moderate to high, ranging from 0.46 to 0.93 for the relationship between harmony and gaits, and from 0.52 to 0.83 among the various movements. Bayesian estimates of genetic correlations were similar in magnitude and rank to those obtained by REML, ranging from 0.49 to 0.77 for harmony and gaits, and slightly higher among movements (0.45 to 0.83). The standard error of genetic correlations estimates by both methods ranged between 0.05 and 0.20, however the estimates obtained by Gibbs sampling tended to be more accurate (Table 3.5). When compared with genetic correlations, the estimates of phenotypic correlations were more similar between methods, and also more homogeneous for the different trait combinations, ranging from 0.52 to 0.61 in REML and from 0.46 to 0.60 in GS.

3.4.6.- Comparison of methodologies

The correlations between BVs predicted by both methods ranged from 0.80 to 0.94 for the traits analysed (Figure 3.2), indicating that the parameters estimated by both methodologies were of comparable magnitude. In relation to the genetic trends (result not show), the results indicate positive trends in all traits, suggest that the predictions obtained in GS are slightly higher. In this way, you can highlight once again the great similarity between the results obtained by these two methods.

These results indicate a reasonable parallelism between the results of both methodologies. However, these results confirm the advantage of using Bayesian methods when working with data following a distribution not complying fully with normality, and support the recommendation of using this methodology in estimation of genetic parameters and prediction of breeding value.

When the heritability and repeatability estimates were compared, they only differed, at most, by 2 percentage points among procedures. The genetic and phenotypic

correlations estimated by the two methods were slightly more different, even though the relative ranking of correlations for the various trait combinations was the same for both procedures. Nevertheless, the standard errors of the estimated genetic correlations were large, reflecting the limited amount of information available, and the differences in estimates among methods could just be a consequence of the modest accuracy achieved.

3.5.- DISCUSSION

In Spain, horses have been traditionally selected based on their conformation and gaits, and shows and competitions where horses are scored based on these traits have been used over the last centuries as a way to select animals for breeding, and as a tool to promote and spread several breeds. The Hispano-Arabe horse has followed this trend, accumulating a data set used in the present study to obtain an updating of the genetic parameters for selection criteria, in response to the demand by breeders to improve the selection program.

3.5.1.- Traits

The breeding program currently underway was set-up with the goal of improving harmony and gaits, as these are desired by breeders and have been shown in other breeds to be correlated with functional performances (Vicente *et al.* 2014a). However, less than 10% of the registered HA animals routinely compete in official functional competitions, while the majority is kept by owners for pleasure and riding, and do not participate in this type of competition. Therefore, information on conformation and gaits included in our study was obtained both in morpho-functional competition events where horses are scored on morphology and gaits, and through on-farm scoring for studbook registration, with scoring attributed in both cases by trained judges. Even though the theoretical scale used when harmony, walk, trot and canter are scored ranges between 1 and 10, the actual scores attributed by the judges only ranged between 4 and 10 points, with a mean of about 7, and very few of the traits analysed strictly followed a normal distribution, even though all of them approached normality.

Therefore, the distribution of scores in our study was not as wide as it should have been, but biological traits obtained from field data are seldom strictly normally distributed (Schroderus & Ojala 2010; Suontama *et al.* 2011) and the use of a subjective

classification scale narrower than intended is a common observation in horse breeding programs (Preisinger *et al.* 1991; Rustin *et al.* 2009).

3.5.2.- Fixed effects

The design of the statistical models to be used in appraising genetic parameters in the Hispano-Arabe horse breed was something new, as this research is the first step to set-up an organized breeding program in HA. Our strategy of grouping studs according to their mean performance level resulted significant, and this seems to have been adequate to overcome the limitations resulting from the subdivision in small studs which occurs in the HA breed.

As in the present study, age of qualification is often taken into account when analysing conformation and movement traits in horses (Sánchez *et al.* 2013; Vicente *et al.* 2014a) and several studies report that the age of an animal is a factor that is strongly related to its functional or sports performance, possibly reflecting the influence of experience in competition, level of maturity and training (Preisinger *et al.* 1991; Vicente *et al.* 2014b), so this is an important source of variation to be taken into account in genetic analyses.

Gender differences were detected, such that females were especially penalized in the scoring of all traits analysed or simply males had a natural better performance than females as was previously reported by Wallin *et al.* (2003). However, the results obtained in males and females may not be directly comparable, due to the likely differences regarding a more strict culling of males before entering competitions or being submitted for classification (Suontama *et al.* 2009), but also because males are often more carefully trained and used more intensively than females. Differences were also detected among seasons of qualification as shown in other horse breeds (Saastamoinen 1993; Suontama 2012).

The increased contribution of Arabian genes resulted in a slight increase in scores for the various traits analysed, which may be a direct influence of the Arabian breed or could also reflect some benefits of heterosis.

The judge effect was important, explaining 7% to 17% of the variance (result not show), as has also been shown in other studies. (Preisinger *et al.* 1991; Koenen *et al.* 1995). This is an important practical finding to the HA breeding program, because the large number of judges scoring animals makes it difficult to homogenize of the classification criteria, even though all judges are submitted to hard training courses and periodical recycling events. These results indicate that more stringent criteria should be used in selecting judges, and reducing their number (by excluding those with more extreme classifications) is perhaps a good way to remove this extraneous source of variability.

3.5.3.- Heritability and Repeatability estimates

Several authors have reported on the heritability of conformation and gait traits in horses, with result showing a wide variability, ranging from 0.12 to 0.53 (Preisinger *et al.* 1991; Vicente *et al.* 2014a). A direct comparison with our results is not possible, because the studied traits have not the same meaning and ways to be scored, but it is interesting to notice that in the Icelandic Horse, the estimates of heritability for general impression was 0.63 (Albertsdóttir *et al.* 2011) while for the Pura Raza Española the estimate was 0.08 (Sánchez *et al.* 2013). Our estimated heritability for harmony was 0.18, which is in the lower range of the values found in the literature and in line with the estimate of 0.14 reported for overall impression in Lusitano horses (Vicente *et al.* 2014a). Heritability estimates for gaits found in the literature are generally around 0.25 for walk and 0.35 for trot and canter (Ducro *et al.* 2007b; Schroderus & Ojala 2010). Our estimated heritabilities for the three traits were 0.10, 0.13 and 0.13, respectively, which are in the lower range of results reported for other horse breeds. These low heritability estimates for gaits in HA could reflect differences in the basic behaviour of these horses relative to other breeds, but could also be a consequence of the diverse ways that gaits are assessed in different horse breeds, and more specifically the influence that different training procedures may have on the performance of a horse (Schroderus & Ojala 2010). In our study, scoring was nearly always performed in field tests with horses held by hand, and in many cases this was done in young untrained horses (around 28% of the observations were taken in horses aged between 1 and 2 years old). In this case, the diversity in stages of training among horses may be reflected in increased environmental variances and thus

lower heritabilities in younger horses (Preisinger *et al.* 1991; Suontama *et al.* 2011). On the other hand, compared to a breed with small census such as the HA, breeds with larger census probably have more stringent scoring criteria applied by more experienced judges, which should reduce the amount of subjectivity, that contributes to inflating the environmental variance (Thorén Hellsten *et al.* 2006).

Repeatability provides information on the usefulness of repeated observations in a breeding program. In our study, repeatability estimates for harmony and gaits were in the range of 0.17 to 0.35, i.e., they were about 1.5 to 2 times larger than the corresponding heritability estimates, indicating an important contribution of permanent environmental variance, possibly related to the long-lasting effects of training. Nevertheless, our estimates of repeatability are far below those reported for Swedish Warmblood horses, which ranged between 0.75 and 0.77 for the traits considered here (Gerber Olsson *et al.* 2000). However, estimates more in line with ours (0.25 to 0.39) were reported by Schroderus and Ojala (2010) for movement traits (walk and trot).

Anyway, the large amount of variance explained by the random effect of the judge is evidently affecting the proportion between the additive variance (heritability) and the sum of additive and permanent environmental (repeatability) in respect the total phenotypic variance. The inclusion of this source of variation as a random effect in the model minimized this repercussion.

Nevertheless, the magnitude of the permanent environmental effects for harmony and gaits are expected to differ from one breed to another (Suontama *et al.* 2011), because factors which are very diverse such as training, the permanence of the same rider in different events, the nature and homogeneity of the events where horses compete, etc., could have a consistent influence on the performance of a horse, and thus affect the magnitude of permanent environmental effects (Stewart *et al.* 2012).

3.5.4.- Genetic and phenotypic correlations

The genetic correlations of harmony with gaits were intermediate to high, ranging from 0.46 to 0.93, in general agreement with the genetic correlation of 0.64 between overall impression and gaits obtained in Lusitano horses by Vicente *et al.* (2014a) and

with other studies (Ducro *et al.* 2007a; Viklund *et al.* 2008). The phenotypic correlations between the traits analysed were of similar or smaller magnitude when compared with genetic correlations. These genetic and phenotypic correlations indicate that beauty (as expressed in harmony) and functionality (as indicated by gaits) are positively associated, therefore, a joint selection could be evaluated in future. On the other hand, this could also mean that traits such as, for example, feet and legs, are important component of the morphology of the horse and at the same time affect its movements, thus resulting in increased genetic and phenotypic correlations. Among gaits, the genetic correlations were high (above 0.65) with canter and moderate (0.48) between walk and trot, in line with the highly positive genetic correlations between the different gaits reported in studies with Swedish Warmblood (Wallin *et al.* 2003; Viklund *et al.* 2008) and Dutch Warmblood horses (Ducro *et al.* 2007b). This would indicate that pleiotropy may exist for genes affecting the ability of a horse for different gaits, and that selection for one of the gaits will benefit the others but the best result should be obtained by simultaneous selection for the various gaits.

Overall, these results indicate that there is no antagonism, neither at the phenotypic nor at the genetic level, between the traits of importance in the HA horse, and that they can be combined in the selection program. This can be done either by developing a selection index giving appropriate weights to the different traits, or by setting-up a multivariate model to predict breeding values to support selection decisions.

3.5.5.- REML vs. Bayesian estimations

Given the limited amount of information available in our study to estimate genetic parameters and the nature of the data used (semi-continuous distribution in a narrow scale), the use of Bayesian approaches to estimate genetic parameters could outperform the REML methods used until now, given their good properties (Blasco 2001) and good performance when applied to binary traits in horses, among other applications (Mucha *et al.* 2012) but especially when data are not in full agreement with normality (Van Tassel & Van Vleck 1996; Faria *et al.* 2007). Estimates of genetic parameters together with their precisions showing a certain parallelism between the breeding values estimated from both methods. However, the genetic trend, advice about small differences between

methodologies in favour to the Bayesian methods. Anyway, the consistency of results obtained indicates that, from a practical point of view, the two methods gave similar results for the various traits analyzed.

3.6.- CONCLUSIONS

High levels of additive genetic variability for harmony, walk, trot and canter, were estimates in the HA horse breed, and these are promising in terms of the expected genetic progress in the breeding program. The heritability estimates were low to intermediate for all traits. Permanent environmental variances were important in most cases, and of magnitude similar to the additive variance, while the variability among judges explained about 20 to 30% of the phenotypic variance, indicating that steps must be taken to achieve more uniform scoring procedures among judges. Genetic correlations were high and positive for all trait combinations, indicating that it is possible to select for both conformation and gaits, with no detrimental responses in either one. The genetic correlations with canter were particularly high, indicating that this trait might be a suitable selection criterion in the early stages of the selection program, resulting in better responses in all the other traits. Ideally, a multitrait Animal Model including all traits might be the more suitable approach to be adopted in genetic evaluations. In this work, no appreciable differences could be detected between REML and Bayesian procedures in the magnitude of estimated genetic parameters, but considering the deviation from normality in some of the traits analysed, the Bayesian approach might be more appropriate for estimating genetic parameters, given its better robustness in those circumstances.

3.7.- REFERENCES

- Albertsdóttir E., Eriksson S., Näsholm A., Strandberg E. & Árnason T. (2008) Genetic correlations between competition traits and traits scored at breeding field tests in Icelandic horses. *Livestock Science* **114**, 181-7.
- Albertsdóttir E., Eriksson S., Sigurdsson Á. & Árnason T. (2011) Genetic analysis of 'breeding field test status' in Icelandic horses. *Journal of Animal Breeding and Genetics* **128**, 124-32.
- Bhatnagar A.S., Lewis R.M., Notter D.R., Schacht C. & Splan R.K. (2011) Genetic parameters of foal inspection scores for two North American sporthorse registries. *Livestock Science* **140**, 88-94.
- Blasco A. (2001) The Bayesian controversy in animal breeding. *Journal of Animal Science* **79**, 2023-46.

- Christmann L., Bruns E. & Schade W. (1995) Survey on the mare performance in the Hanoverian breed. In: *46th Annual Meeting of the European Association of Animal Production, vol. 3551*, Prague, Czech Republic.
- Ducro B.J., Bovenhuis H. & Back W. (2009) Heritability of foot conformation and its relationship to sports performance in a Dutch Warmblood horse population. *Equine Veterinary Journal* **41**, 139-43.
- Ducro B.J., Koenen E.P.C., van Tartwijk J.M.F.M. & Bovenhuis H. (2007a) Genetic relations of movement and free-jumping traits with dressage and show-jumping performance in competition of Dutch Warmblood horses. *Livestock Science* **107**, 227-34.
- Ducro B.J., Koenen E.P.C., Van Tartwijk J.M.F.M. & Van Arendonk J.A.M. (2007b) Genetic relations of First Stallion Inspection traits with dressage and show-jumping performance in competition of Dutch Warmblood horses. *Livestock Science* **107**, 81-5.
- Falconer D.S. & Mackay T.F.C. (1996) *Introduction to quantitative genetics, 4th ed.* Longmans Sci. and tech., Harlow, Essex, UK.
- Faria C.U.D., Magnabosco C.D.U., Reyes A.d.I., Lôbo R.B., Bezerra L.A.F. & Sainz R.D. (2007) Bayesian inference on field data for genetic parameters for some reproductive and related traits of Nelore cattle (*Bos indicus*). *Genetics and Molecular Biology* **30**, 343-8.
- Gerber Olsson E., Árnason T., Näsholm A. & Philipsson J. (2000) Genetic parameters for traits at performance test of stallions and correlations with traits at progeny tests in Swedish warmblood horses. *Livestock Production Science* **65**, 81-9.
- Koenen E.P.C., Vanveldhuizen 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. *Livestock Production Science* **43**, 85-94.
- Meyer K. (2007) WOMBAT: a tool for mixed model analyses in quantitative genetics by restricted maximum likelihood (REML). *Journal of Zhejiang University SCIENCE B* **8**, 815-21.
- Mucha S., Wolc A. & Szwaczkowski T. (2012) Bayesian and REML analysis of twinning and fertility in Thoroughbred horses. *Livestock Science* **144**, 82-8.
- Preisinger R., Wilkens J. & Kalm E. (1991) Estimation of genetic-parameters and breeding values for conformation traits for foals and mares in the Trakehner population and their practical implication. *Livestock Production Science* **29**, 77-86.
- Rustin M., Janssens S., Buys N. & Gengler N. (2009) Multi-trait animal model estimation of genetic parameters for linear type and gait traits in the Belgian warmblood horse. *Journal of Animal Breeding and Genetics* **126**, 378-86.
- Saastamoinen M.T. (1993) *Effect of month of birth, month of judging, and sex of the horse on conformation score, size and growth of young horses in Finland. Horse breeding and production in cold climatic regions*, Reykjavik, Iceland.
- Sánchez M.J., Gómez M.D., Molina A. & Valera M. (2013) Genetic analyses for linear conformation traits in Pura Raza Español horses. *Livestock Science* **157**, 57-64.
- SAS I. (2009) What's New in SAS® 9. 2. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Schroderus E. & Ojala M. (2010) Estimates of genetic parameters for conformation measures and scores in Finnhorse and Standardbred foals. *Journal of Animal Breeding and Genetics* **127**, 395-403.

- Solé M., Cervantes I., Gutiérrez J.P., Gómez M.D. & Valera M. (2014) Estimation of genetic parameters for morphological and functional traits in a Menorca horse population. *Spanish Journal of Agricultural Research* **12**, 125-32.
- Sorensen D.A., Wang C.S., Jensen J. & Gianola D. (1994) Bayesian analysis of genetic change due to selection using Gibbs sampling. *Genetics Selection Evolution* **26**, 333-60.
- Stewart I.D., White I.M.S., Gilmour A.R., Thompson R., Woolliams J.A. & Brotherstone S. (2012) Estimating variance components and predicting breeding values for eventing disciplines and grades in sport horses. *Animal* **6**, 1377-88.
- Stock K. & Distl O. (2006) Genetic correlations between conformation traits and radiographic findings in the limbs of German Warmblood riding horses. *Genetics Selection Evolution* **38**, 657-71.
- Suontama M. (2012) Genetic analysis of foal and studbook traits in selection for racing performance in trotters. University of Helsinki, Helsinki, Finlandia (Thesis).
- Suontama M., Saastamoinen M.T. & Ojala M. (2009) Estimates of non-genetic effects and genetic parameters for body measures and subjectively scored traits in Finnhorse trotters. *Livestock Science* **124**, 205-9.
- Suontama M., van der Werf J.H.J., Juga J. & Ojala M. (2011) The use of foal and studbook traits in the breeding programmes of Finnhorse and Standardbred trotters. *Journal of Animal Breeding and Genetics* **128**, 114-23.
- Thorén Hellsten E., Viklund Å., Koenen E.P.C., Ricard A., Bruns E. & Philipsson J. (2006) Review of genetic parameters estimated at stallion and young horse performance tests and their correlations with later results in dressage and show-jumping competition. *Livestock Science* **103**, 1-12.
- Van Tassel C.P. & Van Vleck L.D. (1996) Multiple-trait Gibbs sampler for animal models: Flexible programs for Bayesian and likelihood-based (co) variance component inference. *Journal of Animal Science* **74**, 2586-97.
- Van Tassel C.P. & Van Vleck L.D. (2001) A Manual for Use of MTGSAM. A Set of FORTRAN Programs to Apply Gibbs Sampling to Animal Models for Variance Component Estimation. Last revised 2001. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Nebraska, USA.
- Van Vleck L.D., Searle S.R. & Henderson C.R. (1960) The number of daughter dam pairs needed for estimating heritability. *Journal of Animal Science* **19**, 916-20.
- Vicente A.A., Carolino N., Ralão-Duarte J. & Gama L.T. (2014a) Selection for morphology, gaits and functional traits in Lusitano horses: I. Genetic parameter estimates. *Livestock Science* **164**, 1-12.
- Vicente A.A., Carolino N., Ralão-Duarte J. & Gama L.T. (2014b) Selection for morphology, gaits and functional traits in Lusitano horses: II. Fixed effects, genetic trends and selection in retrospect. *Livestock Science* **164**, 13-25.
- Viklund Å., Näsholm A., Strandberg E. & Philipsson J. (2010) Effects of long-time series of data on genetic evaluations for performance of Swedish Warmblood riding horses. *Animal* **4**, 1823-31.
- Viklund Å., Thorén Hellsten E., Näsholm A., Strandberg E. & Philipsson J. (2008) Genetic parameters for traits evaluated at field tests of 3- and 4-year-old Swedish Warmblood horses. *Animal* **2**, 1832-41.

Wallin L., Strandberg E. & Philipsson J. (2003) Genetic correlations between field results of Swedish Warmblood Riding Horses as 4-years-old and lifetime performance results in dressage and show jumping. *Livestock Production Science* **82**, 61-71.

Table 3.1. Number of animals (N) with one, two, three and more than four observations per trait in males (M) and females (F).

Trait	N	Sex	Number of records per animal				Total
			1	2	3	> 4	
Harmony	363	M	101	166	150	1003	1420
	538	F	186	238	294	1046	1764
Walk	363	M	94	162	153	1118	1527
	538	F	185	230	300	1115	1830
Trot	363	M	94	162	153	1117	1526
	538	F	185	230	300	1115	1830
Canter	349	M	92	168	159	967	1386
	513	F	182	218	303	971	1674
Total			1119	1574	1812	8452	12957

Table 3.2. Number of records (N), Mean, standard deviation (SD), minimum (Min), maximum (Max) and coefficient of variation (CV) for traits evaluated in Hispano - Arabe horses.

Trait	N	Mean ± SD	Min	Max	CV (%)
Harmony	3184	7.08±0.67	5	9	9.45
Walk	3357	6.78±0.69	4	10	10.16
Trot	3356	6.94±0.75	4	10	10.84
Canter	3060	6.75±0.69	4	10	10.33

Table 3.3. Estimates of fixed effects (BLUE) and lineal regression coefficient ($b \pm SE$) for the various traits analysed, obtained in REML analyses.

Factor	Estimate	Harmony	Walk	Trot	Canter
Sex	Male	0.000	0.000	0.000	0.000
	Female	0.043±0.033	0.029±0.028	0.036±0.034	0.107±0.028**
Season	Spring	0.000	0.000	0.000	0.000
	Summer	0.165±0.057**	0.085±0.058	0.060±0.065	0.083±0.057
	Autumn	0.078±0.046	0.050±0.047	0.099±0.052	0.114±0.046**
	Winter	0.170±0.061**	0.033±0.059	0.042±0.068	0.053±0.059
Arabian genes	$b \pm SE$	0.0018±0.001	0.0022±0.001**	0.0019±0.001	0.0015±0.001

**P<0.05.

Table 3.4. Estimated components of variance for the harmony and movement traits obtained from multivariate analyses by REML and Gibbs sampling methods in Hispano - Arabe horses.

VC ^a	Harmony	Walk	Trot	Canter
REML				
σ^2_a	0.0680	0.0314	0.0568	0.0530
σ^2_{pe}	0.0833	0.0482	0.0866	0.0339
σ^2_j	0.0964	0.1469	0.1478	0.1112
σ^2_e	0.1905	0.2334	0.2719	0.2252
σ^2_p	0.4382	0.4599	0.5631	0.4233
Gibbs				
σ^2_a	0.0803	0.0415	0.0727	0.0532
σ^2_{pe}	0.0732	0.0364	0.0725	0.0283
σ^2_j	0.0827	0.1192	0.1247	0.0977
σ^2_e	0.1997	0.2361	0.2721	0.2262
σ^2_p	0.4359	0.4332	0.5420	0.4054

^aVariance components; σ^2_a = additive genetic variance; σ^2_{pe} = permanent environmental variance; σ^2_j = variance of judge random effects; σ^2_e = residual variance; σ^2_p = phenotypic variance.

Table 3.5.-Genetic parameters with their corresponding standard errors estimated from multivariate analyses by REML and Gibbs sampling for the traits analysed in Hispano-Arabe horses. Heritability and repeatability are in the first and second line on the diagonal, respectively, additive genetic correlations are above diagonal and phenotypic correlations are below diagonal.

Type	Trait	Harmony	Walk	Trot	Canter
REML					
	Harmony	0.16±0.05 0.35±0.03	0.46±0.20	0.93±0.11	0.60±0.15
	Walk	0.56	0.07±0.03 0.17±0.02	0.52±0.20	0.83±0.11
	Trot	0.54	0.61	0.10±0.03 0.25±0.03	0.65±0.13
	Canter	0.52	0.58	0.61	0.13±0.03 0.21±0.02
Gibbs					
	Harmony	0.18±0.05 0.35±0.02	0.49±0.16	0.77±0.08	0.68±0.08
	Walk	0.54	0.10±0.03 0.18±0.02	0.45±0.17	0.83±0.05
	Trot	0.47	0.58	0.13±0.04 0.27±0.02	0.69±0.08
	Canter	0.46	0.56	0.60	0.13±0.02 0.20±0.02

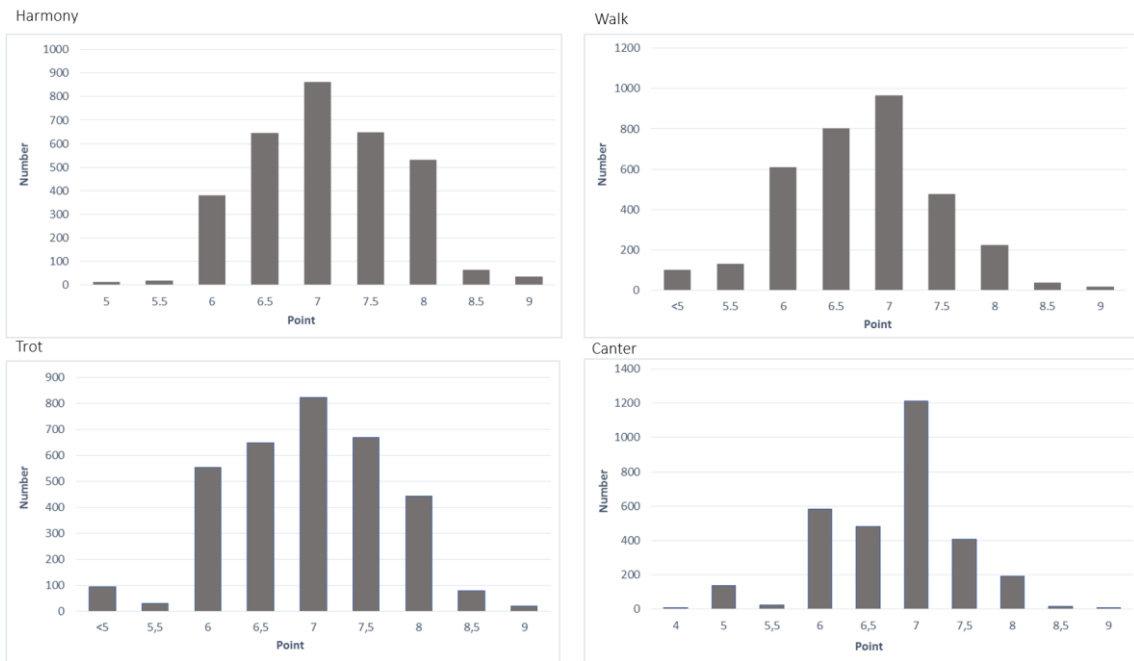


Figure 3.1 Frequency distribution's scores in Hispano - Arabe horse.

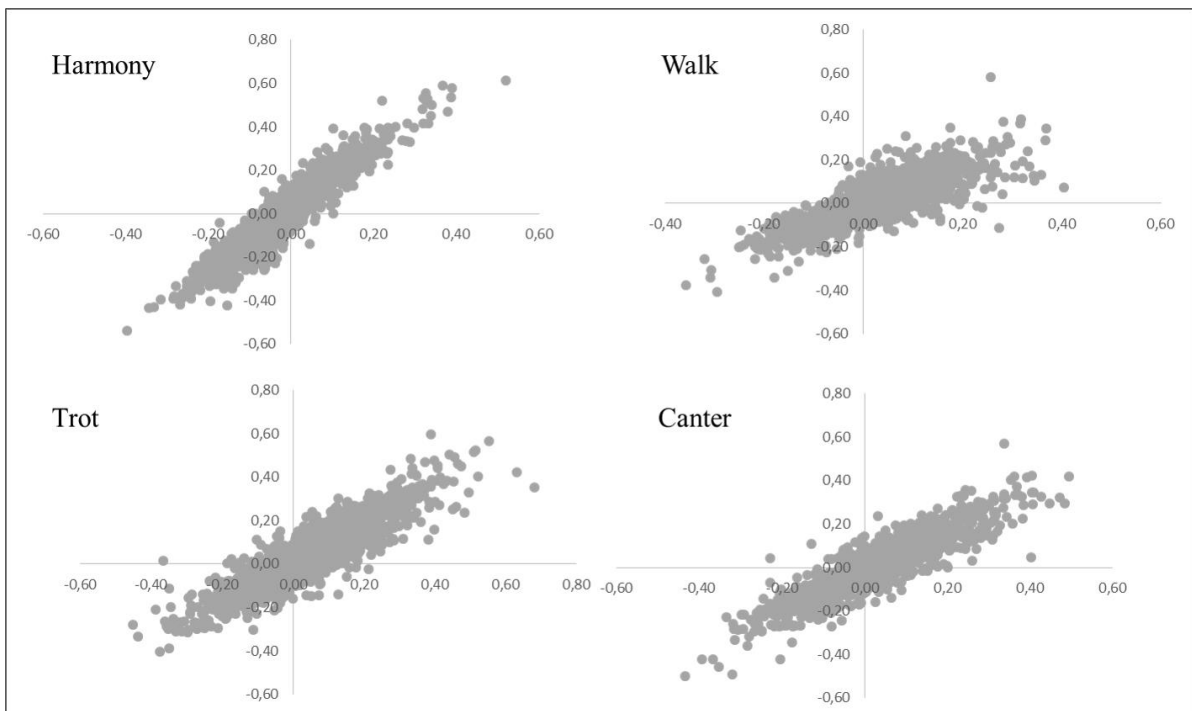
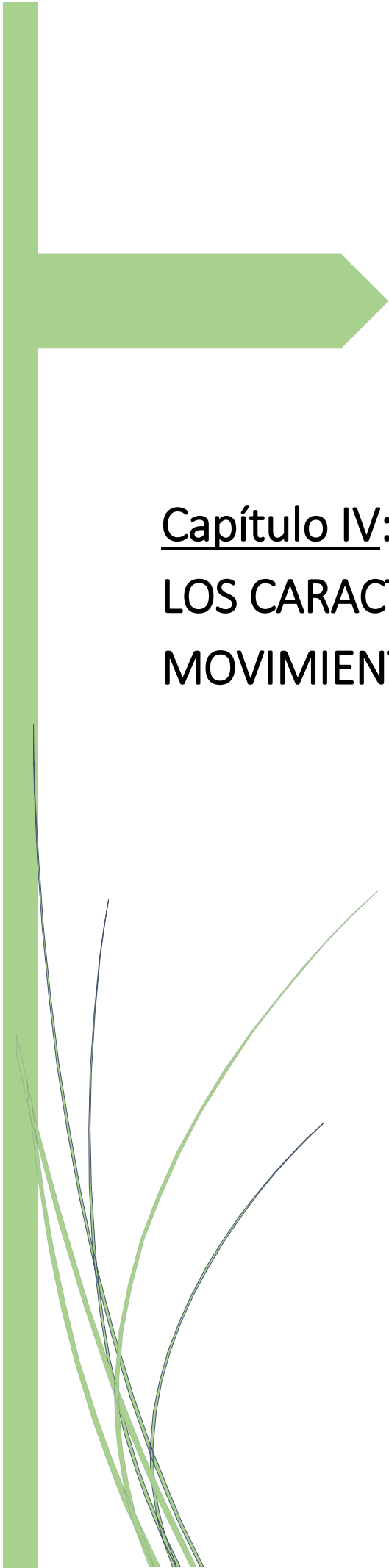


Figure 3.2 Correlation between estimated breeding values in the two methodologies, REML vs GIBBS.



Capítulo IV: EVALUACIÓN GENÉTICA PARA LOS CARACTERES DE CONFORMACIÓN Y MOVIMIENTOS

4.1.- RESUMEN

La evaluación genética de los caballos en competición y la estimación de los valores genéticos se realizan en muchas razas españolas y en diferentes países de Europa. Hasta el año 2009, tal sistema no se había utilizado en el caballo Hispano-Árabe. El objetivo de este estudio fue predecir los valores genéticos, así como estudiar tendencias fenotípicas y genéticas en la población para los caracteres conformacionales y los aires medidos en la raza. Se analizaron los datos de las pruebas morfológicas y funcionales celebradas en la raza entre los años 2000 y 2014. El conjunto de datos incluye 12.957 registros pertenecientes a 901 caballos. La matriz de parentescos estuvo constituida por 3.540 animales. La estimación de los valores de cría de los animales integrados en la matriz de parentescos ha sido obtenida a través de un Modelo Animal con Observaciones Repetidas. Como conclusiones de este estudio se ha constatado que se puede predecir valores genéticos con suficiente precisión. Los resultados de las tendencias genéticas muestran que la respuesta genética de la raza se está efectuando correctamente, mientras que la selección masal no ha resultado beneficiosa en el caballo Hispano-Árabe. Finalmente, la popularidad adquirida por la raza en los últimos años queda confirmada con la evolución positiva de los diferentes tipos de información.

Palabras clave: Equino, esquema de selección, conformacional, movimientos, valor genético.

SUMMARY

The genetic evaluation of the competition horses and the estimation of their breeding values are performed for many Spanish horse breeds and alike in different European countries. Up to the year 2009, no such system had been used for the Hispano-Arabe horse. The objective of this study has been to predict the breeding values, as well as to study the phenotypic and genetic tendencies of the population's conformational characteristics as well as gaits recorded for the breed. Data related to the morphological and functional tests celebrated between the years 2000 to 2014 was analyzed. The data set encompassed 12,957 records belonging to 901 horses. The kinship matrix was constituted by 3,540 animals. The animal breeding values integrated into the kinship matrix were obtained through an animal model with repeated observations. Conclusions drawn out of this study revealed that the genetic values can be predicted with a sufficient precision. Results with respect to the genetic trends disclosed that the breed's genetic response is properly being accomplished, while the mass selection performed on Hispano-Arabe horses has not proved to be advantageous. Finally, the breed's in recent years acquired popularity remains confirmed by the positive evolution of the different information types.

Keywords: Equine, Selection Scheme, Conformational, Movements, Genetic Value.

4.2.- INTRODUCCIÓN

España es uno de los países pioneros en la conservación y mejora de sus recursos genéticos, dispone de un modelo que podría considerarse uno de los mejores del mundo. Encargando la gestión, protección y mejora de una raza a las asociaciones de ganaderos oficialmente reconocidas. Por consiguiente, se trata de un modelo de gestión supervisado por la administración pública.

El Programa de Mejora del Caballo de Pura Raza Hispano-Árabe, ha sido diseñado según las directrices establecidas en la Orden APA/1018/2003 de 23 de abril, por la que se establecen los requisitos básicos para los programas de mejora y controles de rendimientos para la evaluación genética de équidos de raza pura; y el Real Decreto 2129/2008, de 26 de diciembre, por el que se establece el Programa Nacional de Conservación, Mejora y Fomento de las razas ganaderas.

El esquema de selección actual está orientado a conseguir un progreso genético de la raza, conforme a los objetivos planteados por los criadores a través de la Unión Española de Ganaderos de pura raza Hispano-Árabe (en adelante, UEGHá).

Como objetivo general para la cría y selección del Caballo Hispano-Árabe, se estableció la mejora de la **morfología**, dentro de lo establecido por el patrón de la raza; de la **conformación**, como caballo de silla orientado al deporte; y de las **aptitudes funcionales** en consonancia con unas cualidades temperamentales (actitud y comportamiento) que faciliten el manejo en la doma y les permitan destacar en las disciplinas para las que se seleccione (Delgado y cols., 2012).

Respecto a lo antes mencionado, en este capítulo nos centraremos en estudiar los objetivos de Mejora de la Conformación y Aires Básicos, con la finalidad de obtener animales con unas determinadas características morfológicas (conformación-funcional) y de movimientos. La información utilizada en este estudio procede de los controles de rendimientos realizados anualmente, entre ellos: Pruebas de valoración de Reproductores, Concursos Morfológicos y Pruebas de Selección de Caballos Jóvenes (en adelante, PSCJ). Se valoraron caracteres de conformación (armonía) y aires básicos (paso,

trote y galope); caracteres de interés en la población por estar relacionados con el rendimiento funcional de los animales y por lo tanto, con ellos se va a poder afrontar una selección indirecta de su rendimiento en las disciplinas deportivas (Delgado y cols., 2012).

Tradicionalmente la calificación de los caballos se realiza por regiones corporales y por puntos, agrupándose los animales en diferentes secciones de acuerdo al sexo y edad. Las puntuaciones se otorgan en función de la relación morfológica del animal con el "ideal" (Aparicio 1997). Por ello, este tipo de evaluación está influenciada por la experiencia de los jueces y, por tanto, no exenta de subjetividad (Holmström y cols., 1990). Valera y cols. (2005), demostraron la influencia de algunos factores, como la ganadería, el concurso, el año de celebración, el juez, el sexo, la edad y la capa de los animales sobre las puntuaciones recibidas por los animales de Pura Raza Española (PRE).

Por otro lado, Camacho (2002) indicó que para una correcta evaluación genética resulta imprescindible disponer de una adecuada estructura de los datos, con una conexión genética de los rebaños y una adecuada distribución de los mismos entre los niveles de los distintos efectos fijos, para evitar en lo posible la presencia de celdas vacías o un excesivo desequilibrio. Esta situación es comúnmente hallada cuando realizamos las evaluaciones genéticas; un ejemplo de ello, es lo encontrado en el caballo Hispano-Árabe respecto al efecto fijo ganadería, donde nos encontrábamos con un número elevado de niveles con una representación de uno o de pocos individuos y esto llevaba a tener problemas a la hora de estimar los parámetros genéticos y posteriores predicciones de los valores genéticos.

La evaluación genética se basa en la utilización de modelos mixtos para el desarrollo de la metodología BLUP (Best Linear Unbiased Predictor), mediante la aplicación de distintas modalidades del modelo animal, en el que se considerarán todas las relaciones de parentesco conocidas entre los participantes en los distintos controles de rendimientos y los resultados obtenidos en los mismos (Delgado y cols., 2012).

El modelo infinitesimal ha sido utilizado ampliamente para la obtención de buenas y sólidas aproximaciones de la variación genética mendeliana (Árnason 1987). Este

modelo asume que los caracteres están determinados por un número infinito de loci aditivos no ligados con un efecto infinitesimal cada uno (Fisher 1919). Tradicionalmente, la mejora genética animal ha usado este modelo de forma exitosa y es en el que se basa la teoría de estimación del valor de mejora (Henderson 1984).

De acuerdo con el modelo infinitesimal, las desviaciones ambientales son asumidas al ser independientes de los efectos de los genes. Por lo tanto, la varianza de los valores fenotípicos en la población puede ser expresada como la suma de la varianza genética aditiva y de la varianza ambiental. El propósito de las evaluaciones genéticas es la estimación de la varianza genética aditiva, es decir, el valor genético de cada individuo. El valor genético, por tanto, está definido como la suma del promedio de los efectos de los genes afectando en particular a un carácter cuantitativo. Así, los valores genéticos de los individuos son la suma ponderada de los componentes mendelianos de todos sus ancestros trazados en la población base (Kennedy y cols., 1988; Woolliams y Thompson 1994).

Desafortunadamente, los verdaderos valores genéticos de los animales nunca son conocidos. Éstos pueden ser estimados con distintos grados de precisión, dependiendo de la cantidad y calidad de la información funcional y genealógica disponible, así como de las heredabilidades y correlaciones genéticas entre los caracteres. Una propiedad importante del BLUP, es que considera como una función insesgada de las variables fenotípicas que tienen una alta correlación posible con el verdadero valor genético desconocido. La metodología BLUP es considerada una herramienta óptima para la estimación de los valores genéticos, incluso cuando los caracteres y los valores genéticos no están distribuidos normalmente en la población (Henderson 1975).

El BLUP Modelo Animal posee diversas propiedades que lo convierten en el método de elección para las evaluaciones genéticas de caracteres cuantitativos en las razas ganaderas (Henderson 1975; Kennedy y cols., 1988). Entre las ventajas de esta metodología, destaca el hecho de que los valores genéticos están basados en el uso de la información de todos los parientes que puede tener un animal, los valores genéticos están corregidos para todos los factores fijos que incluyen el modelo, y los valores

genéticos de los padres están corregidos por los valores genéticos (en adelante, VG) de sus contemporáneos. Esta propiedad es particularmente importante en la mejora genética en caballos, donde la asignación de madres para cría de sementales es generalmente no aleatoria en términos de mérito genético. Por este motivo, el uso de la metodología BLUP en las evaluaciones genéticas nos proporciona estimaciones más fiables. Sin embargo, todas estas propiedades del BLUP no podrían ser aprovechadas si no disponemos de información fenotípica y genealógica de calidad. Por último, se requiere definir de forma clara las pruebas de rendimientos de los caracteres a ser evaluados para entenderlos y mejorar los programas de cría equina (Koenen 2002; Posta y cols., 2009a).

El éxito de la selección en una población está marcado por el progreso gradual de la media de los valores genéticos. Estos cambios están determinados por factores como la intensidad de selección, la variación genética aditiva, la correlación entre los criterios de selección y los objetivos de mejora y en última instancia por el intervalo generacional. El progreso genético de la población se mide generalmente a través del estudio de las tendencias genéticas, estos cambios pueden ser observados mediante una regresión de los promedios de los valores genéticos en función al año de nacimiento de cada individuo (Viklund y cols., 2011).

En el presente capítulo se llevó a cabo una evaluación genética de los animales que forman parte del núcleo selectivo de la raza. Los caracteres evaluados son la armonía, paso, trote y galope, teniéndose en cuenta para ello toda la información fenotípica, las circunstancias en las que se han generado los datos fenotípicos y las relaciones genealógicas de los individuos. A continuación, se realizó un estudio de las tendencias genéticas y fenotípicas para verificar si se ha experimentado algún cambio a lo largo del período de desarrollo del Programa de Mejora de la raza equina Hispano-Árabe. Finalmente, se abordó un análisis de la evolución de la información recabada desde los inicios del esquema de selección de la raza.

4.3.- MATERIALY MÉTODOS

4.3.1.- Evaluación genética

Caracteres analizados

La evaluación genética se ha basado en los criterios de selección más valorados económicamente en el caballo Hispano-Árabe. Es decir, aquellos criterios que más han valorado los vendedores para tasar económicamente su producto y los compradores para cotizarlo. Los criterios evaluados han sido la armonía general del animal y sus aires básicos; el paso, trote y galope.

Información genealógica

Los datos utilizados pertenecen a caballos inscritos en el Libro Genealógico de la raza. Se trata de la información genealógica disponible en el programa de gestión de la Unión Española de Ganaderos de Pura Raza Hispano – Árabe, siendo evaluados 3.540 animales presentes en la matriz de parentesco.

Información productiva

El conjunto de datos disponibles para el desarrollo de la evaluación genética ha sido recopilado durante los años 2000 a 2014, correspondientes a todos los concursos morfológicos, valoraciones y resultados de las PSCJ (Doma Vaquera). Las valoraciones fueron efectuadas por jueces especializados, encargados de evaluar tanto las aptitudes de conformación como los aires básicos. Se utilizaron formularios de valoraciones diseñados por la UEGHA, en los que se recogieron toda la información del animal, un conjunto de medidas zoométricas y principalmente los caracteres objeto de este estudio.

Podrán participar todos los animales (machos y hembras) inscritos en el Libro Genealógico. Desde un año de edad para los Concursos Morfológicos; de tres años en adelante para la valoración de reproductores y más de cuatro años para las PSCJ de Doma Vaquera y otras pruebas deportivas oficiales. Los controles se realizaron con los animales a mano o montados en las pruebas que lo requieran.

El archivo final estuvo compuesto por 12.957 observaciones, distribuidas por sexos en: 5.859 observaciones correspondientes a 363 machos y 7.098 observaciones correspondientes a 538 hembras.

Modelo de análisis para la evaluación genética

La estimación de los valores de cría y sus respectivas precisiones se obtuvieron mediante la utilización de la metodología BLUP (Best Linear Unbiased Predictors), aplicándose para ello un **Modelo Animal con Observaciones Repetidas Univariado**, (Gerber Olsson y cols., 2000; Schroderus y Ojala 2010; Suontama y cols., 2011), utilizándose un criterio de convergencia de Var $[-2\log(L)] < 1 \times 10^{-9}$ (donde L representa la función de verosimilitud).

Los efectos incluidos en el modelo fueron:

- *Efectos fijos:*
 - Grupos de manejo (GM) (17 niveles, se procedió a agrupar las ganaderías en grupos de manejo de acuerdo con el nivel de producción, agrupamientos con el mismo rendimiento medio de las mismas).
 - Sexo (2 niveles: macho, hembra).
 - Combinación año*evento de evaluación (52 niveles).
 - Época de evaluación (4 niveles: primavera, verano, otoño e invierno).

- *Covariable lineal y cuadrática:*
 - Edad del animal.
 - El porcentaje de sangre.

- *Efectos aleatorios:*
 - Valor genético aditivo del animal.
 - Efecto ambiental permanente: Animal (901 niveles).
 - Efecto aleatorio del juez (33 niveles).

La representación general del modelo univariado utilizado fue el siguiente:

$$y_{ijklmnopq} = \mu + GM_i + S_j + AE_k + E_l + (bE + b^2E)_m + (bS)_n + Animal_o + PE_p + J_q + e_{ijklmnopq}$$

Donde, $y_{ijklmnopq}$ es la puntuación de cada carácter para $ijklmnopq$ de n th animales; μ es la media de la población; GM_i es el efecto fijo de i th grupos de manejo ($i = 22$ clases); S_j es el efecto fijo de j th de sexo ($j = 2$ niveles); AE_k es el efecto fijo de k th de la combinación año y evento ($k = 52$ niveles); E_l es el efecto fijo de l th época ($l = 4$ niveles); $(bE + b^2E)_m$ la edad, que fue considerada una covariable y que fue corregida mediante una ecuación lineal y cuadrática; $(bS)_n$ el porcentaje de sangre considerada como una covariable y fue corregida mediante una ecuación lineal; $Animal_o$ es el efecto aleatorio del animal, $mean = 0$ y $varianza = A\sigma_a^2$; PE_p es el efecto ambiental permanente del animal, $media = 0$ y $varianza = \sigma_{pe}^2$; J_q es el efecto aleatorio del juez calificador; $e_{ijklmnop}$ es el efecto residual, $media = 0$ y $varianza = \sigma_e^2$.

Y en notación matricial el modelo univariado utilizado fue el siguiente (Gama y cols., 2004):

$$y = Xb + Z_a a + Z_p p + Z_A A + e$$

Donde:

y , es el vector de la información fenotípica de los caracteres, armonía, paso, trote y galope.

b , a , p , A son el vector de los efectos fijos (GM, sexo, combinación año y evento, época y sexo); el vector del efecto aleatorio aditivo y vector del efecto ambiental permanente del animal, respectivamente y el vector del efecto aleatorio del juez calificador.

e , es el vector de los efectos residuales.

X y Z_a , Z_p , Z_A son las matrices de incidencia de efectos fijos (X) y efectos aleatorios (Z_a , Z_p y Z_A), respectivamente.

Las soluciones de los valores genéticos y efectos ambientales permanentes, de acuerdo a un modelo animal de observaciones repetidas, fueron obtenidas a partir de la siguiente ecuación del Modelo Lineal Mixto:

$$\underbrace{\begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'Z \\ Z'X & Z'Z + A^{-1}\alpha & Z'Z \\ Z'X & Z'Z & Z'Z + I\gamma \end{bmatrix}}_{\text{MATRIZ DE COEFICIENTES}} \underbrace{\begin{bmatrix} b \\ a \\ p \end{bmatrix}}_{\text{INCOGNITAS}} = \underbrace{\begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \\ Z'y \end{bmatrix}}_{\text{INCOGNITAS}}$$

Donde:

$$\alpha = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_a^2} \quad \text{y} \quad \gamma = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_{pe}^2}$$

El modelo citado pueden ser representadas de este modo (Carolino 2006):

$$\text{Var} \begin{bmatrix} a \\ p \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A\sigma_a^2 & 0 & 0 \\ 0 & I\sigma_{pe}^2 & 0 \\ 0 & 0 & I\sigma_e^2 \end{bmatrix} \text{ de tal forma que: } \mathbf{h}^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_p^2} \mathbf{re} = \frac{\sigma_a^2 + \sigma_{pe}^2}{\sigma_p^2}$$

Donde:

A, es la matriz de parentesco.

I, corresponde a la matriz identidad de orden igual al número de animales con registros.

σ_a^2 , σ_{pe}^2 , σ^2A y σ^2e son, la varianza de efectos genéticos, varianza de efectos ambientales permanentes, la varianza de los efectos aleatorios y varianza residual, respectivamente.

El programa utilizado fue el MTDFREML, (Múltiple Trait Derivate Free Restricted Maximun Likelihood), desarrollado por Boldman y cols., (1993). Se obtuvieron las predicciones BLUP de los efectos genéticos directos (a) de todos los animales incluidos

en la matriz de parentesco. En la **Tabla 4.1**, se muestran los parámetros genéticos utilizados en la evaluación genética.

Tabla 4.1. Componentes de varianza utilizados en la Evaluación Genética de los caracteres de conformación y movilidad en el caballo Hispano-Árabe.

Carácter	σ^2_a	σ^2_{pe}	σ^2_j	σ^2_e	σ^2_p
Armonía	0,0680	0,0833	0,0964	0,1905	0,4382
Paso	0,0314	0,0482	0,1469	0,2334	0,4599
Trote	0,0568	0,0866	0,1478	0,2719	0,5631
Galope	0,0530	0,0339	0,1112	0,2252	0,4233

σ^2_a = Varianza genética aditiva; σ^2_{pe} = Varianza ambiental permanente; σ^2_j = Varianza ambiental aleatoria del juez; σ^2_e = Varianza residual; σ^2_p = Varianza fenotípica.

4.3.2.- Tendencias genéticas y fenotípicas

Las tendencias genéticas, fueron calculadas a partir de los valores genéticos obtenidos para los caracteres analizados (armonía, paso, trote y galope). Se utilizaron los VG de los animales y se llevó a cabo una regresión en función del año de nacimiento, teniendo así animales nacidos entre 1960 y 2013.

De la misma forma, las tendencias fenotípicas fueron calculadas para los mismos caracteres, en este caso se utilizó aquellos animales con información propia y nacidos entre los años 1960 a 2013.

Las tendencias genéticas y fenotípicas se calcularon mediante una regresión lineal, promediando los valores genéticos y fenotípicos de los animales que han nacido en un año específico (Jhonson y Garrick 1990; Silva y cols., 1998; Valencia y cols., 2005). Los valores genéticos estimados a través del BLUP-Modelo Animal nos permiten separar la tendencia genética y ambiental (Erasmus 1990). Así, los coeficientes de regresión se interpretaron como estimaciones de la tasa de incremento fenotípico y genético, lograda a lo largo de los años. Para ello, se utilizó el procedimiento PROC REG del paquete estadístico SAS en su versión 9.2 (SAS 2009).

4.3.3.- Evolución de precisiones

La evolución de la precisión fue calculada a partir de los RAP generados de la evaluación genética de los caracteres armonía, paso, trote y galope. El RAP es la precisión

de los valores genéticos; es la correlación entre los valores genéticos predichos y los valores genéticos reales. Hammond y cols. (1992) dijeron que los valores predichos no son iguales a los valores reales. La proximidad entre estos dos valores puede ser evaluada con base en la precisión de la estima del valor genético (Van Vleck y cols., 1987; Lobo y cols., 1997). Así que, cuanto mayor sea el valor de la precisión, mayor es la confianza en el valor genético predicho de este animal.

Mediante una regresión lineal se calcularon los coeficientes de regresión. Promediando las precisiones de los valores genéticos respecto al año de nacimiento de los mismos, disponiéndose de nacimientos comprendidos entre los años 1960 y 2013. Se utilizó el procedimiento PROC REG del paquete estadístico SAS en su versión 9.2 (SAS 2009).

4.3.4.- Evolución de la información

Se realizó un estudio de la evolución de los diferentes tipos de información disponibles. Entre ellos, la evolución de la matriz de parentesco; la evolución del número de registros; la evolución del número de controles realizados en las valoraciones, pruebas morfológicas y PSCJ; la evolución de los animales con información propia; la evolución de los sementales y yeguas con valores genéticos; y finalmente la evolución del número de ganaderos presentes en Programa de Mejora. Información comprendida entre los años 2009 y 2014. Realizándose una representación gráfica del volumen de información respecto al año generado.

4.4.- RESULTADOS

4.4.1.- Evaluación genética

Una vez realizada la evaluación genética se obtuvieron los valores genéticos para machos y hembras reproductivamente activos. Se presentan en la **Tabla 4.2**, los valores mínimos y máximos de los valores genéticos y sus precisiones estimadas en los machos para los caracteres de armonía, paso, trote y galope.

Tabla 4.2. Valores genéticos y precisión obtenidos en los machos de la raza equina Hispano – Árabe.

Carácter	Máx.	Min.	Precisión	
			Máx.	Min.
Armonía	0,562	-0,487	0,81	0
Paso	0,357	-0,221	0,76	0
Trote	0,488	-0,302	0,77	0
Galope	0,549	-0,495	0,83	0

Así también en la **Tabla 4.3**, se muestran los mínimos y máximos de los valores genéticos y precisiones obtenidas para las hembras en los caracteres armonía, paso, trote y galope.

Tabla 4.3. Valores genéticos y precisión obtenidos en las hembras de la raza equina Hispano – Árabe.

Carácter	Máx.	Min.	Precisión	
			Máx.	Min.
Armonía	0,454	-0,406	0,72	0
Paso	0,326	-0,192	0,69	0
Trote	0,437	-0,257	0,71	0
Galope	0,529	-0,455	0,74	0

Se diseñaron los rankings de machos y hembras mejorantes en cada uno de los caracteres evaluados (armonía, paso, trote y galope). En la **Tabla 4.4** se muestran los 10 primeros machos, ordenados de mayor a menor en función de su valor genético y con precisiones superiores a 0,70.

Tabla 4.4. Ranking de machos obtenidos por su valor genético para el carácter armonía en la raza equina Hispano – Árabe.

PRODUCTO	PADRE	MADRE	F. NAC.	VG ARMONIA	RAP
HISPANICO 56,25%	ALIMOCHÉ 62,5%	GEMELA 50%	25/06/2010	0,562	0,76
ZACATIN 62,5%	SIROCCO	RECELOSA 25%	08/02/2001	0,340	0,77
CAUTIVO MVB II 50%	ILUSO 75%	CAUTIVA	03/01/2010	0,324	0,73
ALIMOCHÉ 62,5%	ALCARAVAN 75%	GEMELA 50%	02/01/1999	0,314	0,84
EMBITE 81,25%	TRAJANO	ZURDA 62,5%	10/04/2006	0,268	0,77
RANCHERO 75%	SHAFEEK	GAETA 50%	12/04/1996	0,227	0,81
GRULLO 65,67%	RELAMPAGO 68,75%	GRULLA 62,5%	05/02/2005	0,218	0,75
BOMBON MM 50%	NAAB	MORERA. M.M.	14/03/2005	0,217	0,80
ANSARITO CD 50%	ALCARAVAN 75%	ANSARITA	02/03/2006	0,215	0,75
PATIN YAC 50%	MAZ-ALFAJARIN	BAILARINA XII	21/03/2003	0,214	0,80

El ranking diseñado para el carácter de paso se muestra en la **Tabla 4.5**, con niveles de precisión mayor de 0,70.

Tabla 4.5. Ranking de machos obtenidos por su valor genético para el carácter paso en la raza equina Hispano – Árabe.

PRODUCTO	PADRE	MADRE	F. NAC.	VG PASO	RAP
ANSARITO CD 50%	ALCARAVAN 75%	ANSARITA	02/03/2006	0,274	0,71
EMBITE 81,25%	TRAJANO	ZURDA 62,5%	10/04/2006	0,203	0,72
FADO 50%	BENCARATE 75%	JUANITA	10/02/2005	0,173	0,75
TERCO CD II 50%	GRULLO 65,67%	TERCA CD	30/01/2010	0,150	0,71
DIBUJADO 50%	SUR-JEM 25%	ROCIERA-JEM	06/01/2008	0,131	0,72
JUBILOSO 50%	TAPETE 75%	JUBILOSA	08/04/2007	0,126	0,71
ZACATIN 62,5%	SIROCCO	RECELOSA 25%	08/02/2001	0,120	0,70
CAUTIVO MVB 50%	ZARAPITO 75%	CAUTIVA	14/01/2009	0,114	0,76
CALIPSO 50%	ULTRAJE 50%	LA COMETA	21/06/2010	0,104	0,75
HISPANICO 56,25%	ALIMOCHÉ 62,5%	GEMELA 50%	25/06/2010	0,102	0,71

En la **Tabla 4.6** puede observarse el ranking para el carácter trote obtenidos en función de su valor genético y con precisiones superiores a 0,70.

Tabla 4.6. Ranking de machos obtenidos por su valor genético para el carácter trote en la raza equina Hispano – Árabe.

PRODUCTO	PADRE	MADRE	FECHA NAC.	VG TROTE	RAP
HISPANICO 56,25%	ALIMOCHE 62,5%	GEMELA 50%	25/06/2010	0,467	0,73
ALIMOCHE 62,5%	ALCARAVAN 75%	GEMELA 50%	02/01/1999	0,392	0,81
PATIN YAC 50%	MAZ-ALFAJARIN	BAILARINA XII	21/03/2003	0,301	0,76
ANSARITO CD 50%	ALCARAVAN 75%	ANSARITA	02/03/2006	0,290	0,73
BOMBON MM 50%	NAAB	MORERA. M.M.	14/03/2005	0,258	0,75
EMBITE 81,25%	TRAJANO	ZURDA 62,5%	10/04/2006	0,220	0,74
ZACATIN 62,5%	SIROCCO	RECELOSA 25%	08/02/2001	0,219	0,73
TAPETE 75%	MAF IM RASHID	NAERA 50%	06/04/1998	0,218	0,83
ZARAPITO 75%	VAGNUF	INSENSATA 50%	30/03/1988	0,198	0,73
JUBILOSO 50%	TAPETE 75%	JUBILOSA	08/04/2007	0,186	0,73

El ranking elaborado para el carácter galope se muestra en la **Tabla 4.7**, encontrando precisiones superiores a 0,70.

Tabla 4.7. Ranking de machos obtenidos por su valor genético para el carácter galope en la raza equina Hispano – Árabe.

PRODUCTO	PADRE	MADRE	F. NAC.	VG GALOPE	RAP
FADO 50%	BENCARATE 75%	JUANITA	10/02/2005	0,385	0,81
DECATHLON 37,5%	TAPETE 75%	PEDIDA	25/02/2005	0,353	0,71
EGIPCIO 37,5%	OBCECADO	TARJETA 75%	16/02/2005	0,310	0,71
BOMBON MM 50%	NAAB	MORERA. M.M.	14/03/2005	0,296	0,82
INCAUTO 31,25%	ALIMOCHE 62,5%	FAMOSA CXXXII	05/06/2008	0,288	0,72
GALLINETOIIICD 65,6%	SEGADOR	GALLINETA-CD 31,25%	16/04/2009	0,280	0,71
ANSARITO CD 50%	ALCARAVAN 75%	ANSARITA	02/03/2006	0,249	0,78
GALLINETO CD 50%	RELAMPAGO 68,75%	GALLINETA-CD 31,25%	16/04/2007	0,247	0,76
ORUJO 25%	VIOLIN	HERMOSA 50%	17/04/1994	0,240	0,73
BENCARATE 75%	ADAL-BURLON	KARINA II 50%	21/03/1996	0,239	0,79

El ranking de las hembras para el carácter armonía en función de su valor genético y con precisiones superiores a 0,70 queda reflejado en la **Tabla 4.8**.

Tabla 4.8. Ranking de hembras obtenidas por su valor genético para el carácter armonía en la raza equina Hispano – Árabe.

PRODUCTO	PADRE	MADRE	F. NAC.	VG ARMONIA	RAP
ESPAÑA 75%	SEGADOR	JALUPA 50%	17/06/2003	0,422	0,72
GEMELA 50%	FENIX	GEMA II	14/04/1990	0,420	0,73
ALAICA II 50%	PATIN YAC 50%	CALAMBRIA 50%	05/03/2009	0,354	0,70
FABELA 50%	ULTRAJE 50%	OCTAEDRA 50%	10/02/2007	0,338	0,70
ALGARINA N 50%	AZACAN 50%	BOHEMIA CD 50%	04/03/2013	0,281	0,76
RAFAGA 50%	ISLEÑO II 50%	GACELA-T 50%	23/03/2006	0,271	0,70
DECANA 25%	ISLEÑO II 50%	RECTA	20/03/2005	0,243	0,72
BARQUERA 37,5%	TORPEDO 25%	GEMELA 50%	29/06/2004	0,238	0,71
PAMELA 50%	ISLEÑO II 50%	GACELA-T 50%	18/02/2005	0,235	0,73
CANELA HR 50%	EMBITE 81,25%	DULCINEA	10/05/2009	0,221	0,71

El ranking elaborado para el carácter paso se encuentra detallado en la **Tabla 4.9**, encontrando precisiones superiores a 0,70.

Tabla 4.9. Ranking de hembras obtenidas por su valor genético para el carácter paso en la raza equina Hispano – Árabe.

PRODUCTO	PADRE	MADRE	F. NAC.	VG PASO	RAP
URRACA CD 50%	RELAMPAGO 68,75%	ANSARITA	04/02/2008	0,232	0,73
HASINA 50%	ALIMOCHE 62,5%	SAETA III	05/05/2010	0,213	0,72
BOHEMIA CD 50%	RELAMPAGO 68,75%	AGUILITA	01/04/2007	0,171	0,73
ATREVIDA CD 50%	GRULLO 65,67%	QUERENCIOSA CD	11/02/2009	0,171	0,73
ALGARINA N 50%	AZACAN 50%	BOHEMIA CD 50%	04/03/2013	0,145	0,71
CINICA CD 50%	GRULLO 65,67%	QUERENCIOSA CD	26/03/2011	0,142	0,73
CUCA III 50%	ZARAPITO 75%	GRULLA	11/04/2002	0,127	0,72
HERMOSA IV 50%	ALIMOCHE 62,5%	RULETA	21/06/2010	0,120	0,71
CALATRAVA CD 50%	GRULLO 65,67%	TERCA CD	26/02/2011	0,110	0,73
BOTANICA CD 50%	GRULLO 65,67%	AGUILITA	14/03/2010	0,109	0,71

Seguidamente, se obtuvo el ranking para el carácter trote en función de su valor genético y con precisiones superiores a 0,70 (**Tabla 4.10**).

Tabla 4.10. Ranking de hembras obtenidas por su valor genético para el carácter trote en la raza equina Hispano – Árabe.

PRODUCTO	PADRE	MADRE	F. NAC.	VG TROTE	RAP
FABULOSA II 50%	ZACATIN 62,5%	ZANAHORIA	05/04/2007	0,239	0,70
URRACA CD 50%	RELAMPAGO 68,75%	ANSARITA	04/02/2008	0,227	0,75
PALAZETA 50%	ISLEÑO II 50%	OZAETA 50%	23/02/2005	0,204	0,71
CYHARA 50%	ISLEÑO II 50%	OZAETA 50%	08/02/2006	0,194	0,70
RELAMPAGA 59,37%	RELAMPAGO 68,75%	ROCIO	14/01/2007	0,181	0,71
TRIANA III 50%	ZARAPITO 75%	FERIA 1	19/07/2008	0,171	0,75
PLAYA 62,5%	ISLEÑO II 50%	VIVARACHA 75%	08/04/2005	0,158	0,71
HERMOSA IV 50%	ALIMOCHÉ 62,5%	RULETA	21/06/2010	0,157	0,73
CINICA CD 50%	GRULLO 65,67%	QUERENCIOSA CD	26/03/2011	0,154	0,75
LABORIOSA 50%	ISLEÑO II 50%	QUISQUILLOSA 50%	15/04/2003	0,150	0,81

Finalmente, se obtuvo el ranking para el carácter galope que fueron elegidos en función de su valor genético y con precisiones superiores a 0,70 (Tabla 4.11).

Tabla 4.11. Ranking de hembras obtenidas por su valor genético para el carácter galope en la raza equina Hispano – Árabe.

PRODUCTO	PADRE	MADRE	F. NAC.	VG GALOPE	RAP
FOCA 50%	BENCARATE 75%	GALLINETA	06/01/2005	0,246	0,81
ESTELA II 50%	BENCARATE 75%	GALLINETA	20/01/2004	0,162	0,79
URRACA CD 50%	RELAMPAGO 68,75%	ANSARITA	04/02/2008	0,131	0,79
CAMPERA II 25%	SUR-JEM 25%	AL-ZAHIRA 25%	03/03/2006	0,121	0,77
LUCERA L,F, 50%	ULTRAJE 50%	ROCIO LF	22/01/2006	0,103	0,81
GOYESCA III 50%	SUR-JEM 25%	ERIZADA 75%	09/02/2006	0,103	0,76
VALORADA 50%	TAPETE 75%	NAHLA	20/03/2007	0,101	0,78
GAVILANA 50%	BENCARATE 75%	GALLINETA	05/04/2006	0,094	0,76
EMBLEMÁTICA HR 50%	EMBITE 81,25%	DECIMA	24/02/2011	0,076	0,75
GAVIOTA 50%	BENCARATE 75%	KUKA	12/02/2006	0,072	0,77

4.4.2.- Tendencias genéticas y fenotípicas

Las tendencias genéticas obtenidas en el caballo Hispano – Árabe se muestran en las Figuras 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4. Pueden observarse los coeficientes de regresión lineal de los valores genéticos para cada carácter analizado en función del año de nacimiento,

siendo de +0,0045 puntos/año, -0,0002 puntos/año, +0,0025 puntos/año y +0,0025 puntos/año para la armonía, paso, trote y galope, respectivamente.

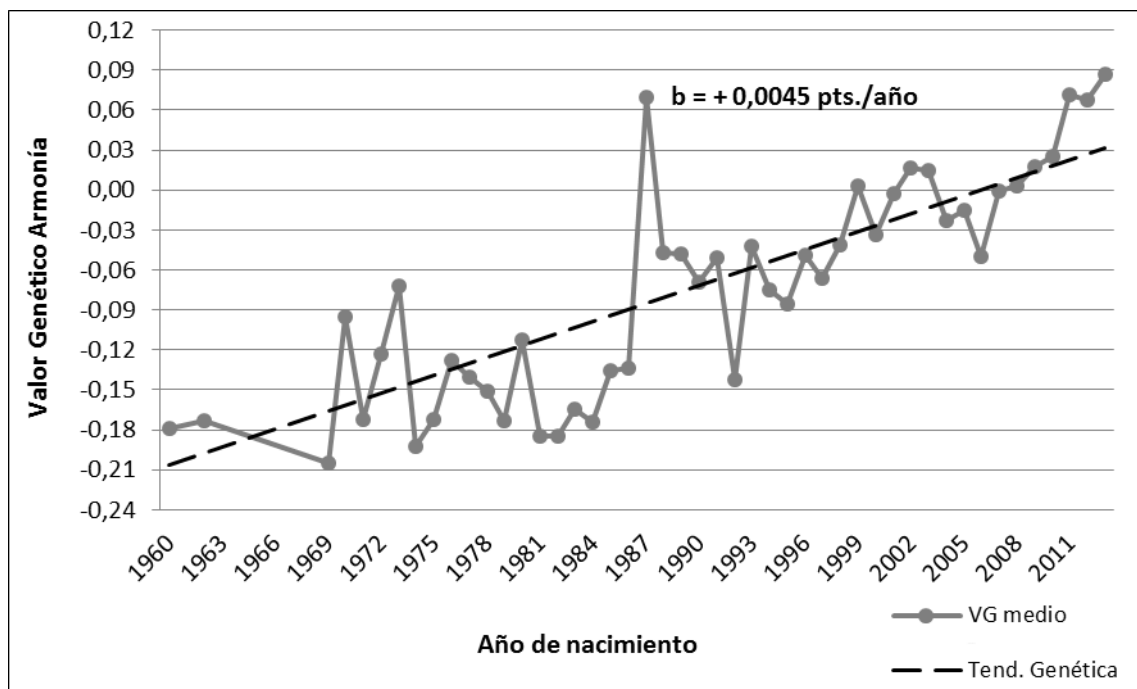


Figura 4.1. Tendencia genética para el carácter armonía.

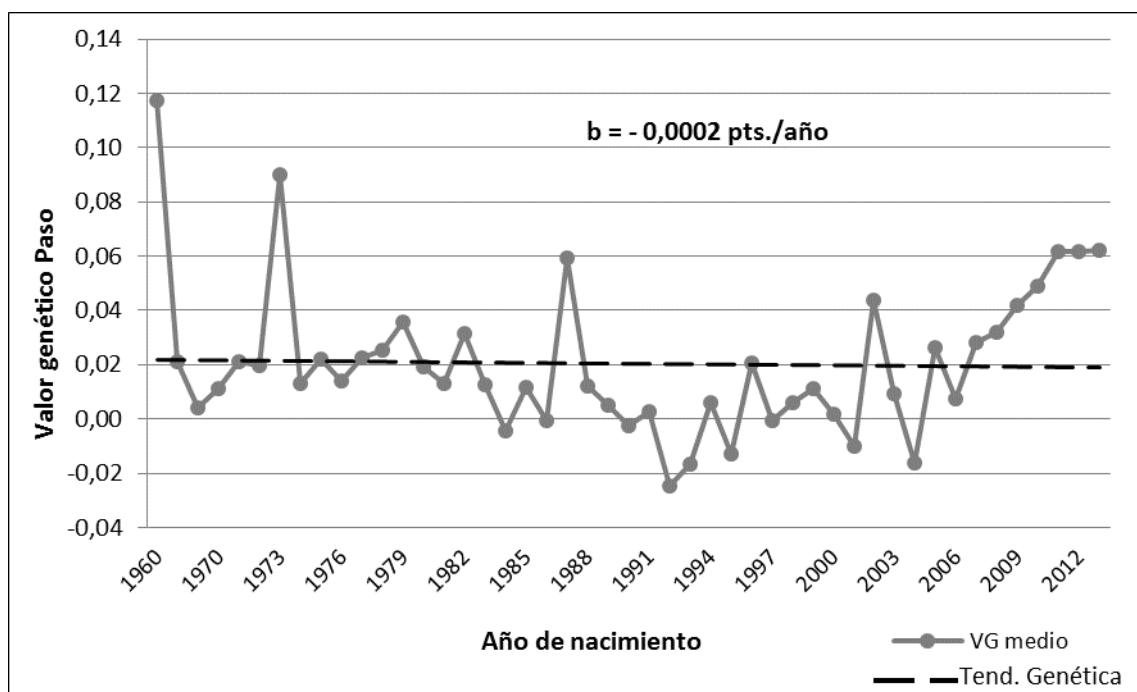


Figura 4.2. Tendencia genética para el carácter paso.

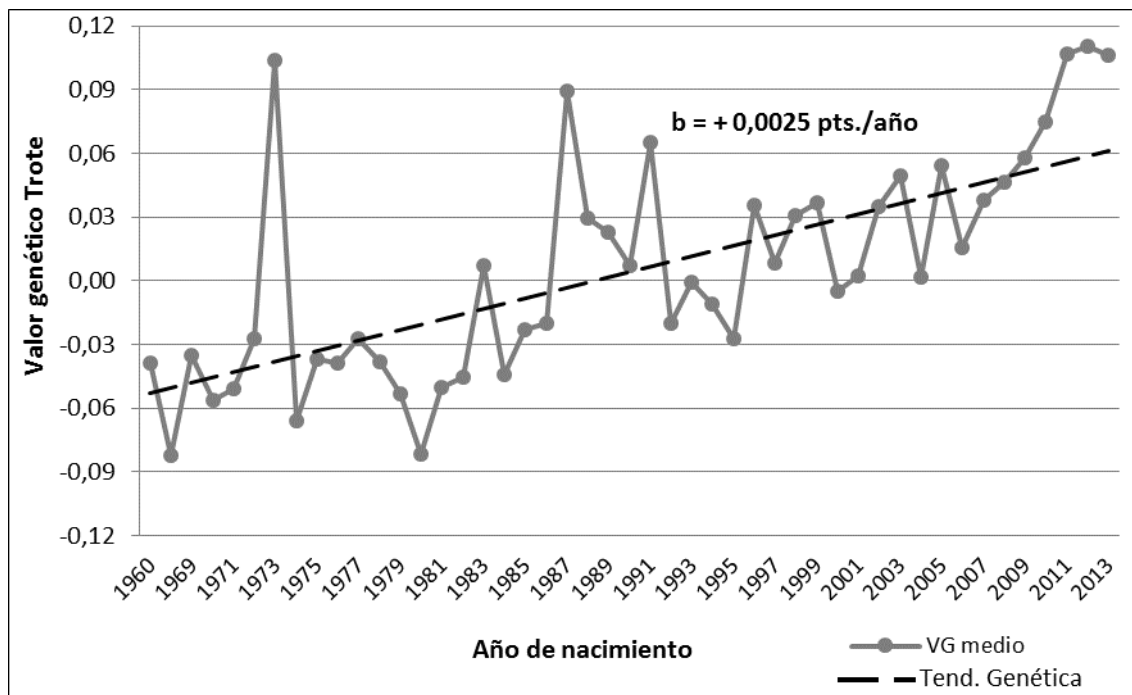


Figura 4.3. Tendencia genética para el carácter trote.

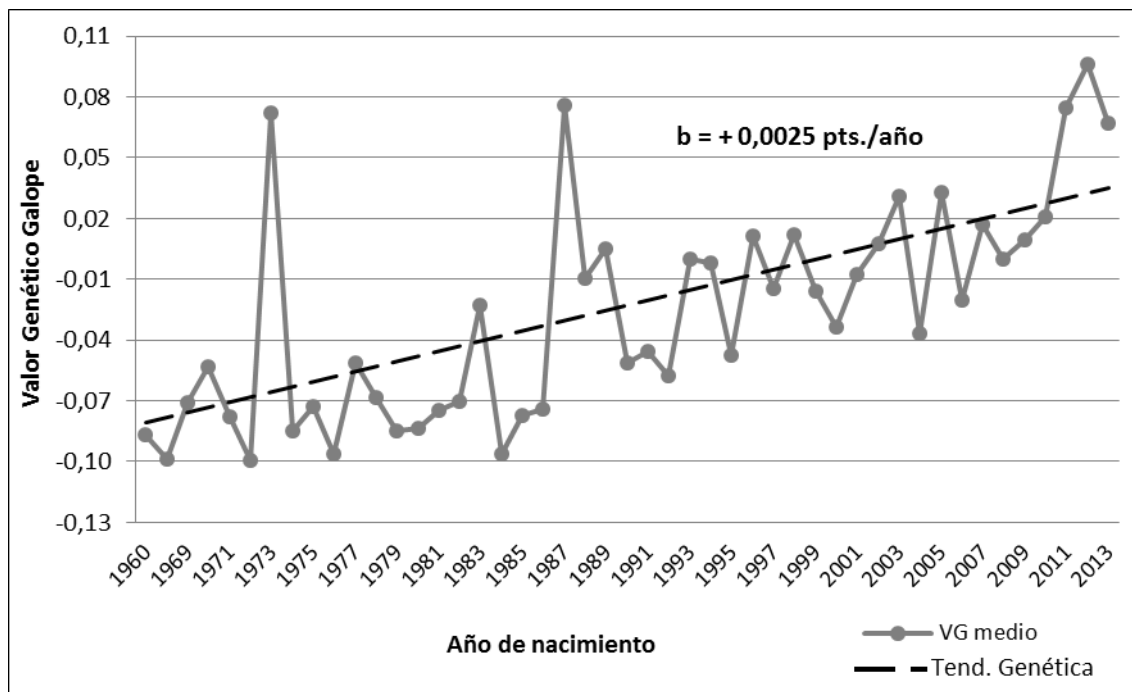


Figura 4.4. Tendencia genética para el carácter galope.

A manera de resumen, en la **Tabla 4.12** podemos apreciar el progreso genético medio de la población Hispano-Árabe, dividida en dos períodos de tiempo: como los años previos (1960-2008) y posteriores al inicio del Programa de Mejora (2009-2013).

Tabla 4.12. Progreso genético anual medio para los caracteres armonía, paso, trote y galope del caballo Hispano – Árabe.

Período año de nacimiento	Armonía	Paso	Trote	Galope
1960 - 2008	-0.084	0.021	-0.002	-0.033
2009 - 2013	0.023	0.016	0.055	0.025

Con respecto a las tendencias fenotípicas, el comportamiento manifestado fue distinto al de las tendencias genéticas, resultando en tendencias negativas con un coeficiente de regresión lineal de -0,0088 pts. /año, -0,018 pts. /año, -0,0171 pts. /año y -0,0008 pts. /año para el carácter armonía, paso, trote y galope, respectivamente. (Figuras, 4.5, 4.6, 4.7 y 4.8).

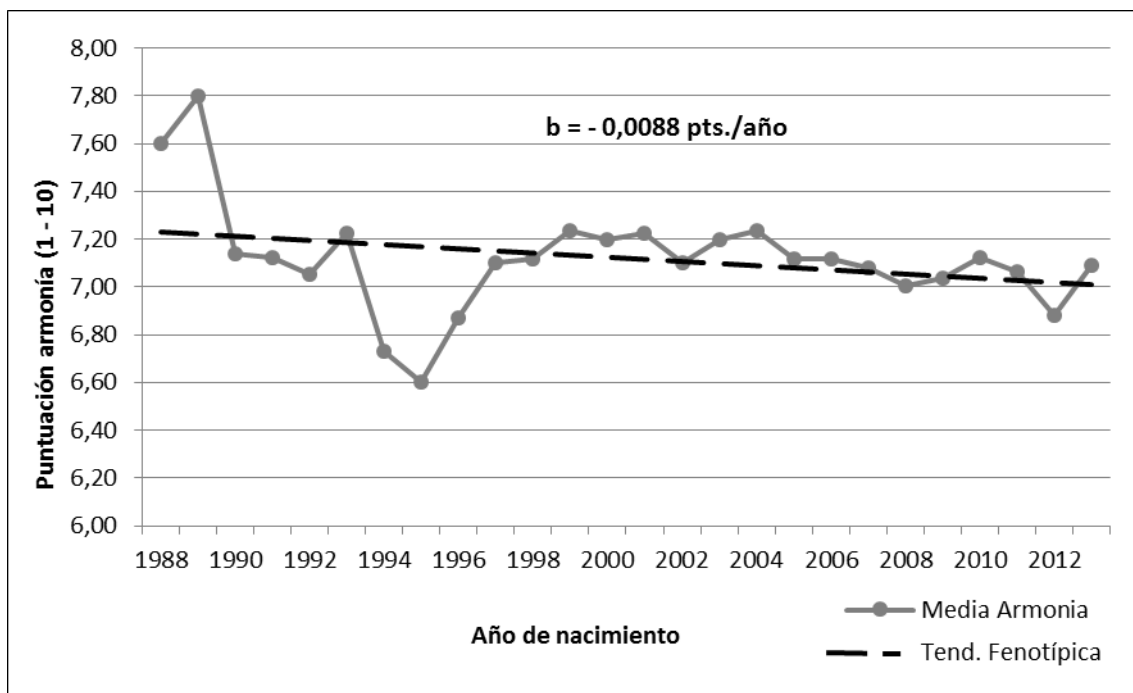


Figura 4.5. Tendencia fenotípica para el carácter armonía.

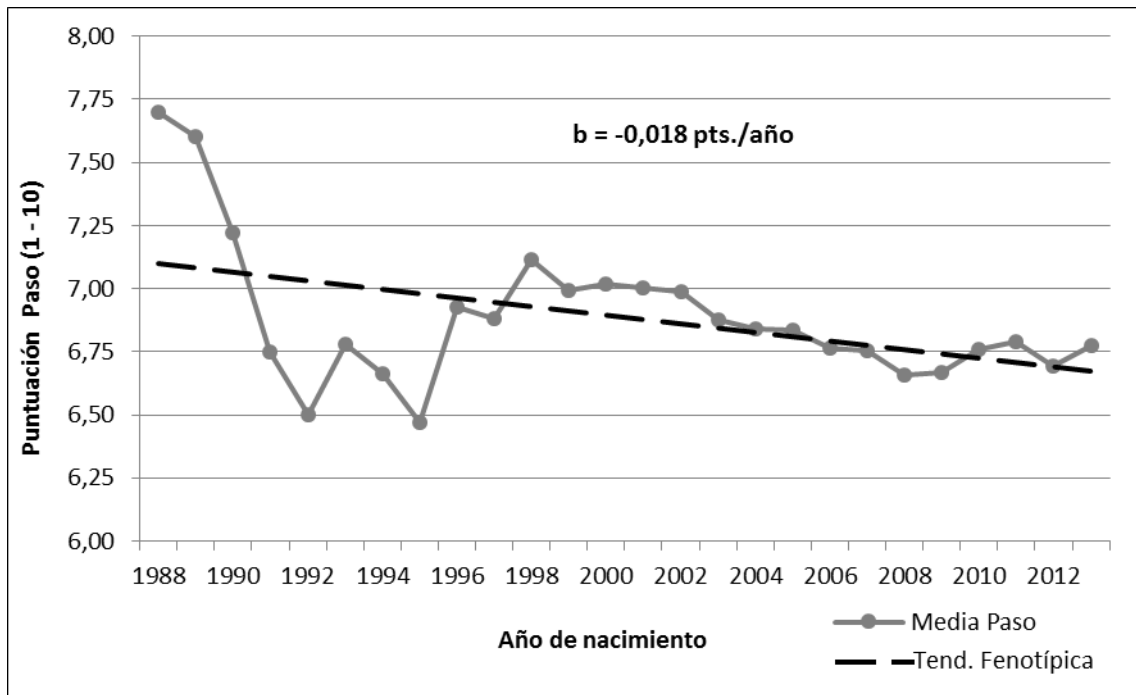


Figura 4.6. Tendencia fenotípica para el carácter paso.

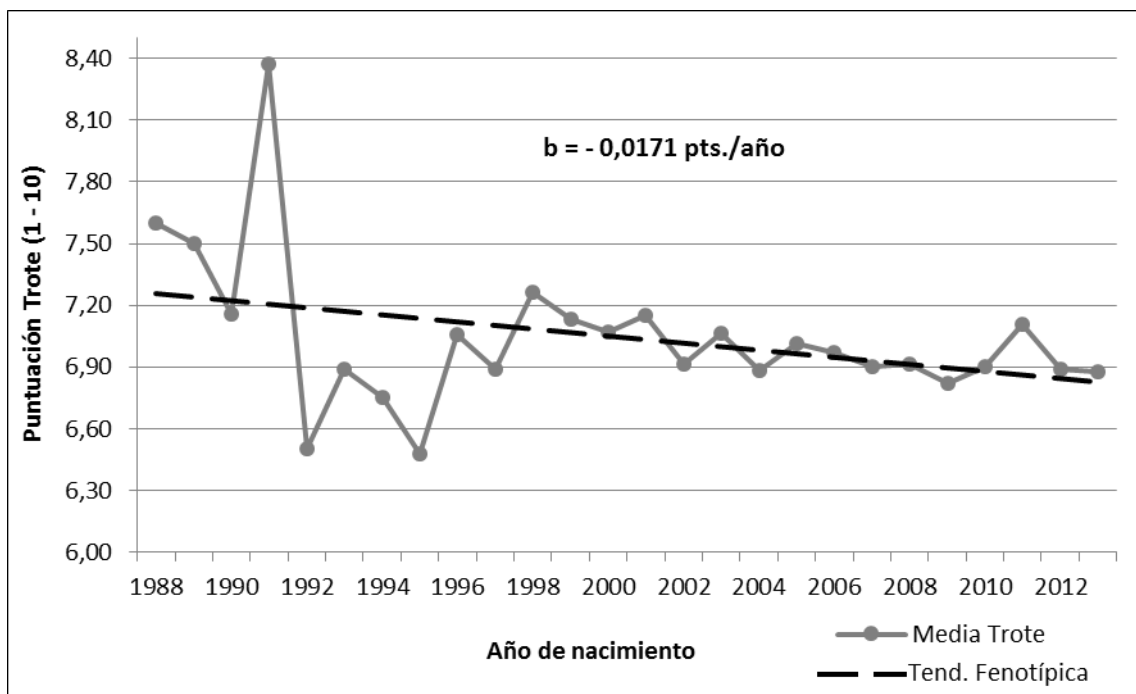


Figura 4.7. Tendencia fenotípica para el carácter trote.

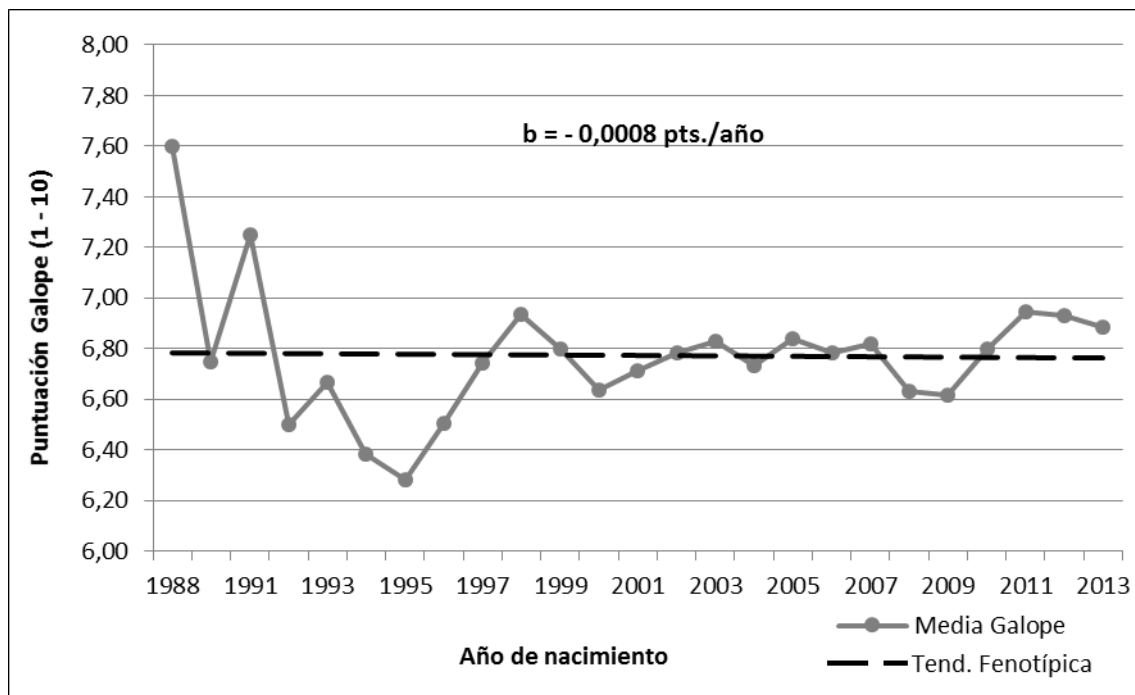


Figura 4.8. Tendencia fenotípica para el carácter galope.

4.4.3.-Evolución de precisiones

La precisión o RAP de los resultados fueron obtenidos a la vez que los valores genéticos. Se obtuvieron coeficientes de regresión lineal negativos, de $-0,0028$ /año, $-0,0046$ /año, $-0,0039$ /año y $-0,0029$ /año para la armonía, paso, trote y galope, respectivamente, y que se ponen de manifiesto en la Figura 4.9.

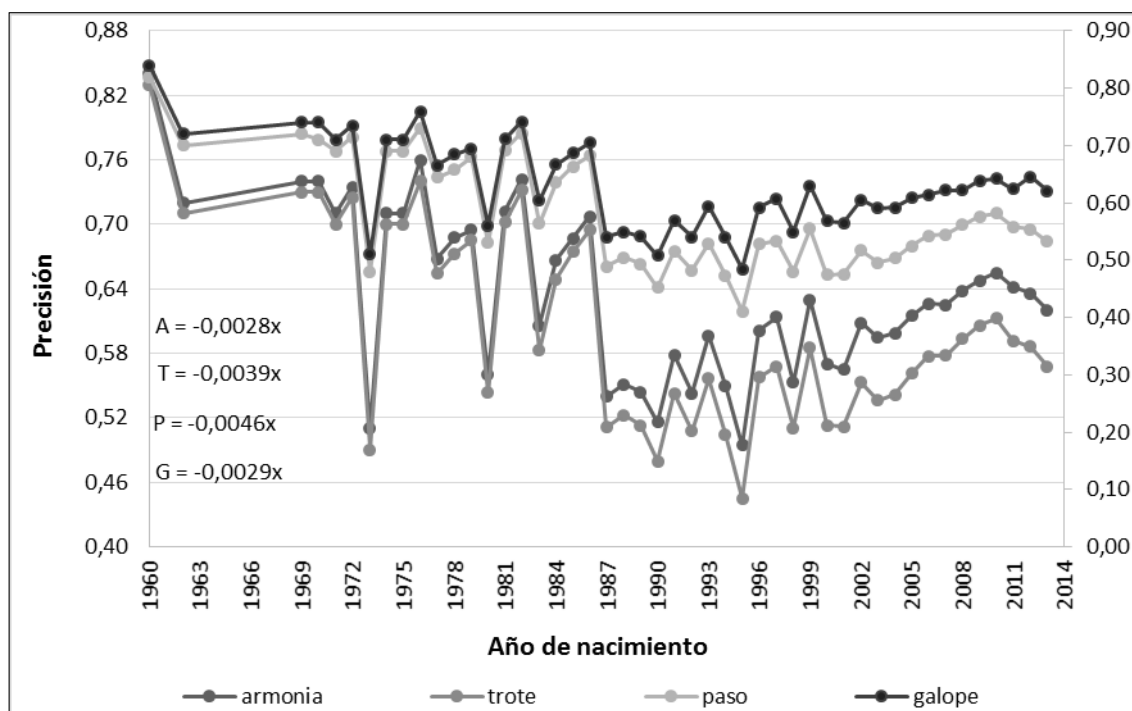


Figura 4.9. Evolución de la precisión media por año de nacimiento para el carácter de conformación y de movimientos.

Además, se encontró que alrededor del 61% de las hembras tuvieron precisiones superiores a 0,60 para la armonía y el galope. Mientras, que para los machos este porcentaje fue superior (69%) en los mismos caracteres. A continuación, se encuentra el trote con el 49% de hembras y machos con precisiones superiores a 0,60. Y por último, se ubicó el paso que no muestra el mismo comportamiento, teniendo el porcentaje más bajo de machos y hembras que cumplan este criterio (42%) (Tabla. 4.13).

Tabla 4.13. Porcentaje de animales con precisión superior al 0,60.

Sexo	Armonía	Paso	Trote	Galope
Machos (%)	61,83	39,30	47,46	60,00
Hembras (%)	69,42	44,36	51,38	67,92

4. 4. 4.-Evolución de la información

En la **Figura 4.10** se presentan los resultados de la evolución efectuada de la información entre los años 2009 y 2014. Analizando estos resultados, queda claro que se ha venido trabajando de manera satisfactoria para mejorar e incrementar el número

registros en los últimos años, notándose un mayor interés por parte de los ganaderos en participar en la dinámica de trabajo del Programa de Mejora.

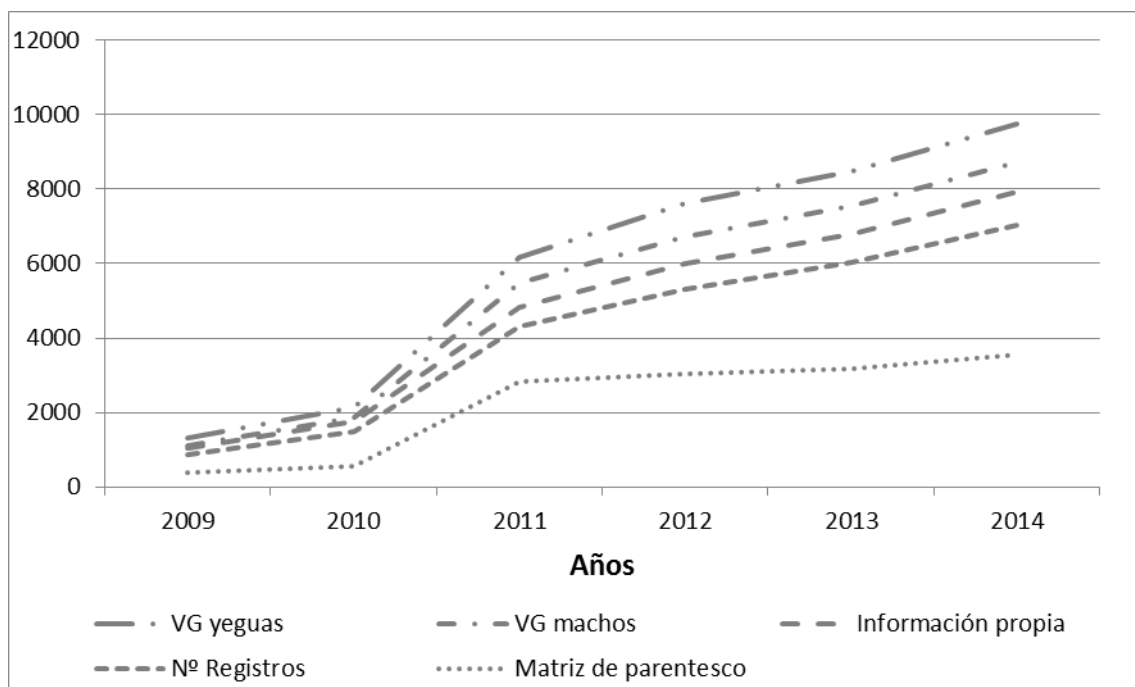


Figura 4.10. Evolución de la información generada en los últimos seis años en el caballo Hispano-Árabe.

Analizando de manera individual, podemos ver como se incrementa de manera exponencial el número de animales presentes en la matriz de parentesco, destacando el incremento más acusado entre el año 2010 y 2011 (81% más de información) (Figura 4.11).

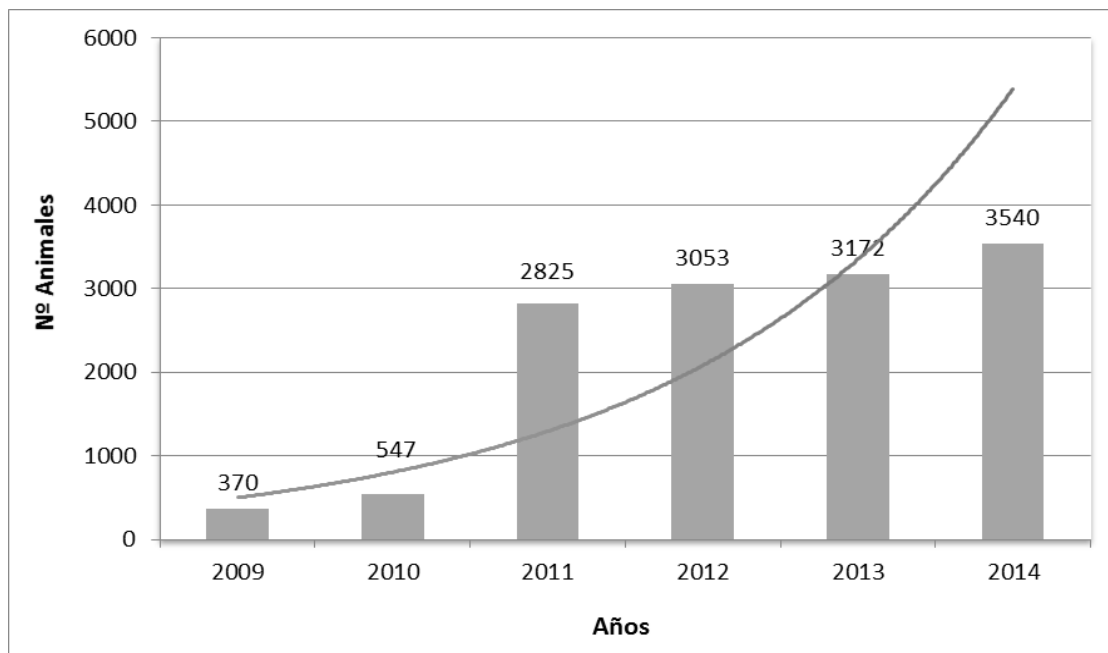


Figura 4.11. Evolución del número de animales presentes en la matriz de parentesco generada en los últimos seis años en el caballo Hispano-Árabe.

En la **Figura 4.12** se aprecia la tendencia positiva del incremento de la información fenotípica, punto muy importante para seguir cumpliendo estrictamente con los objetivos que se plantearon en el Programa de Mejora de la raza. Notándose un incremento anual próximo al 40%.

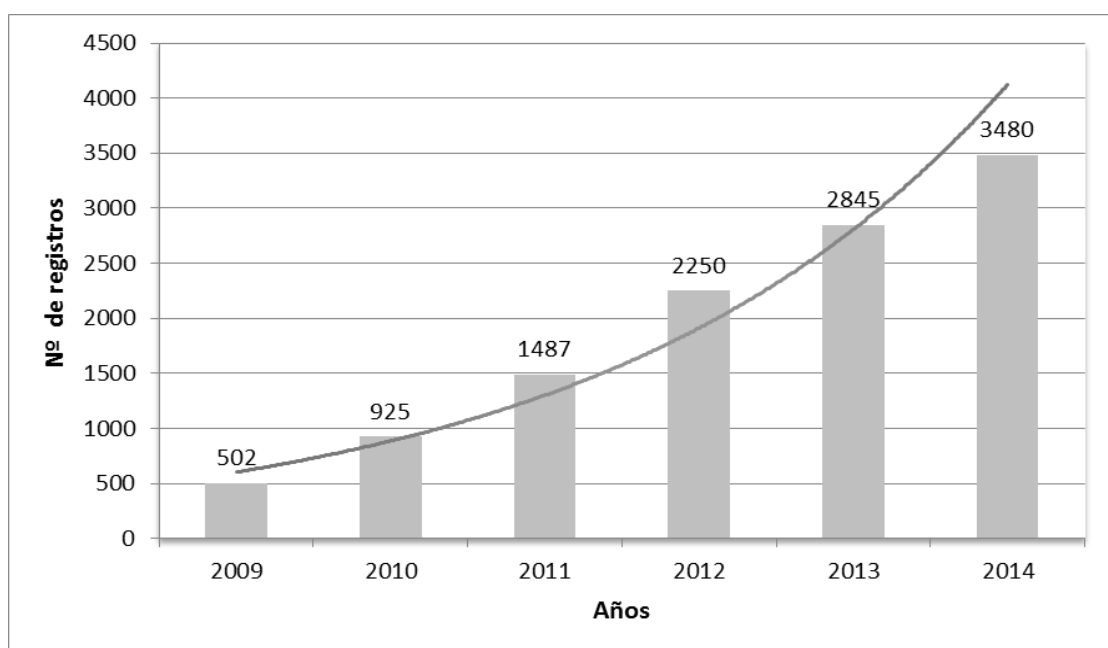


Figura 4.12. Evolución del número de registros productivos generados en los últimos seis años en el caballo Hispano-Árabe.

Siguiendo la misma tónica que el punto anterior, en la **Figura 4.13** se observa una tendencia positiva respecto al incremento de la información propia de cada animal, visualizando un aumento constante cada año.

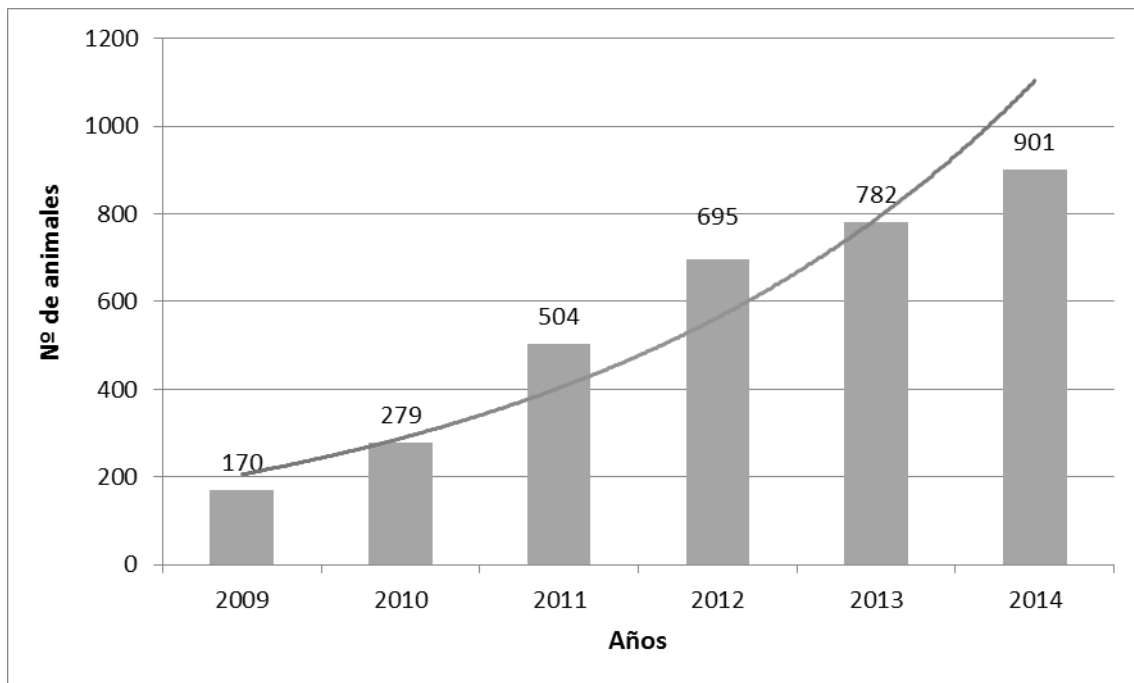


Figura 4.13. Evolución del número de animales con información propia generados en los últimos seis años en el caballo Hispano-Árabe.

Así mismo, en la **Figura 4.14** observamos la tendencia positiva de los diferentes tipos de información utilizados en esta evaluación genética. Datos actualizados hasta agosto del año 2014, evidenciándose que para los tres tipos de información el incremento es notable cada año. Sin embargo, en el último año se observa un descenso en el número de registros, resultado causado por la falta de dos concursos realizados en el último trimestre y que no han sido incluidos en este estudio.

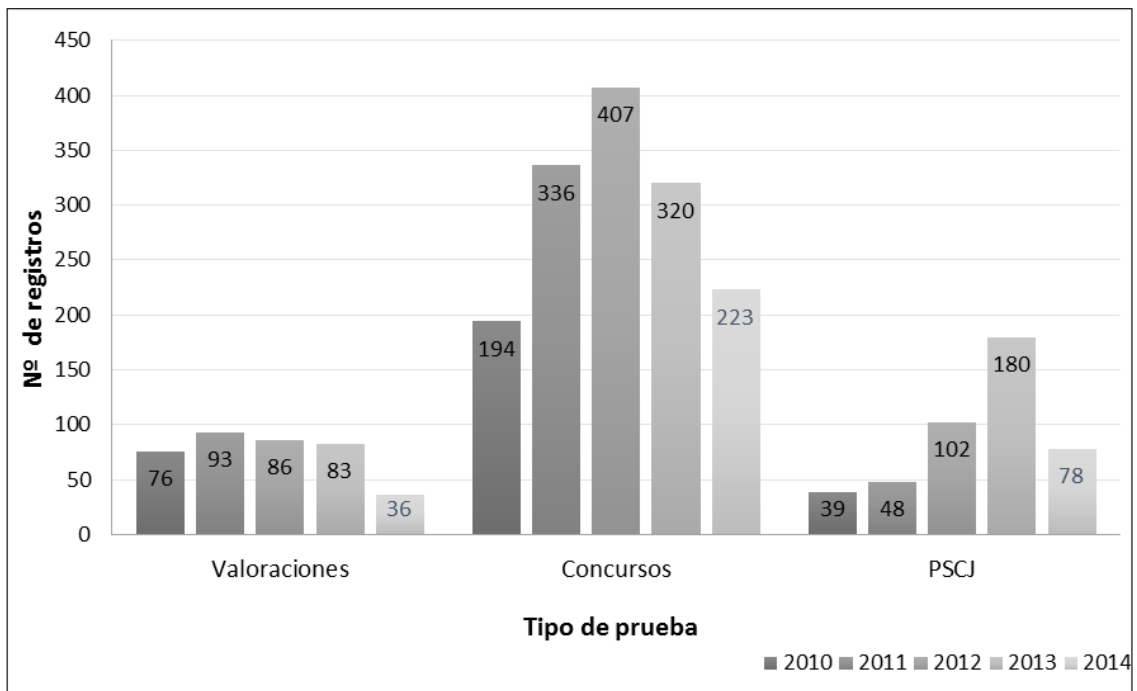


Figura 4.14. Evolución del número de registros en los diferentes tipos de prueba generados en los últimos cinco años en el caballo Hispano-Árabe.

Evaluar a los ejemplares por sus capacidades funcionales es fundamental para el cumplimiento del Programa de Mejora, por lo tanto, tener un número adecuado de información y/o registros productivos es importante, por ello se muestra la siguiente **Figura 4.15**, dónde se observa la evolución positiva que ha sufrido este tipo de control de rendimiento. Cabe mencionar que este tipo de prueba se empezó a efectuar a partir del año 2010 y que hasta la fecha actual se puede comprobar que su concurrencia a participar ha sido muy positiva.

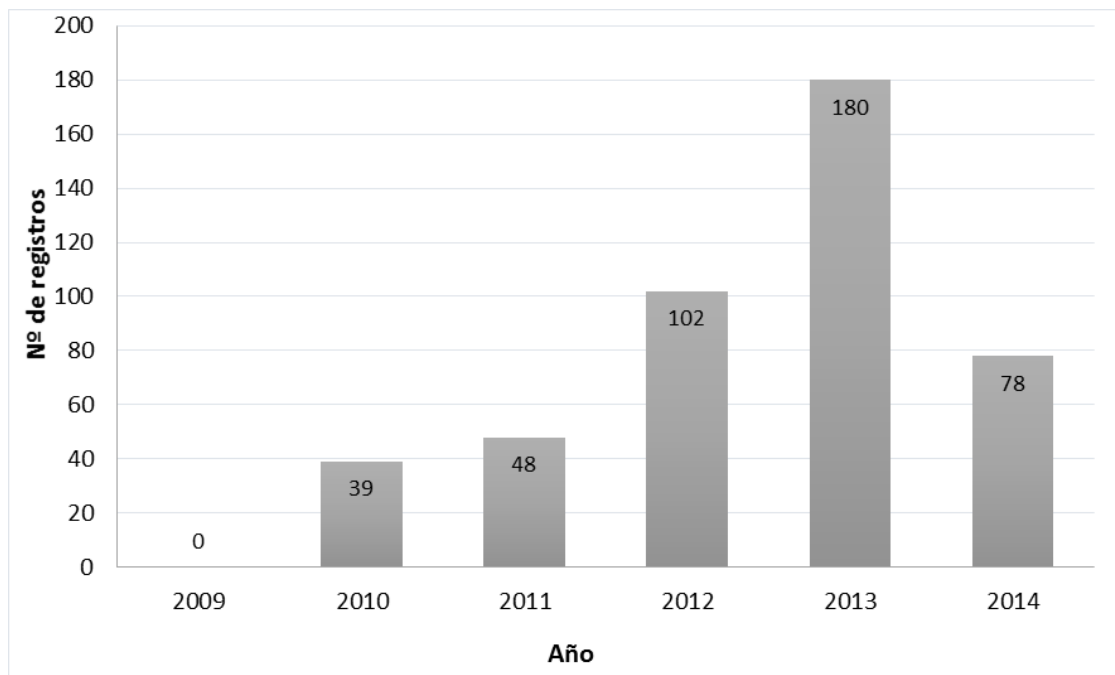


Figura 4.15. Evolución del número de registros en la Prueba de Selección de Caballos Jóvenes generados en los últimos cinco años en el caballo Hispano-Árabe.

Por otro lado, en la **Figura 4.16** observamos un claro aumento del número de animales que obtienen un valor genético. Encontrándose el incremento más evidente entre el año 2010 y 2011, teniendo 541 machos y 431 hembras más.

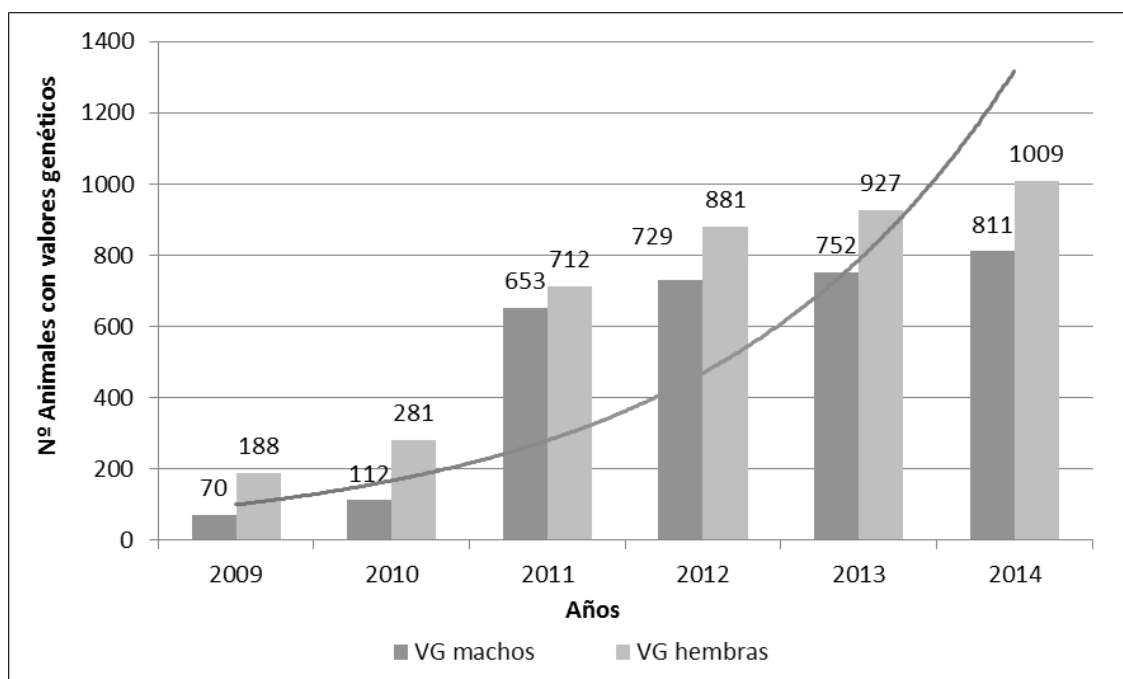


Figura 4.16. Evolución del número de animales con valor genético generados en los últimos cinco años en el caballo Hispano-Árabe.

Finalmente, y como consecuencia del aumento de la información de los puntos anteriores, se observa una tendencia positiva de participación de los ganaderos en el Programa de Mejora, tal como se observa en la **Figura 4.17**.

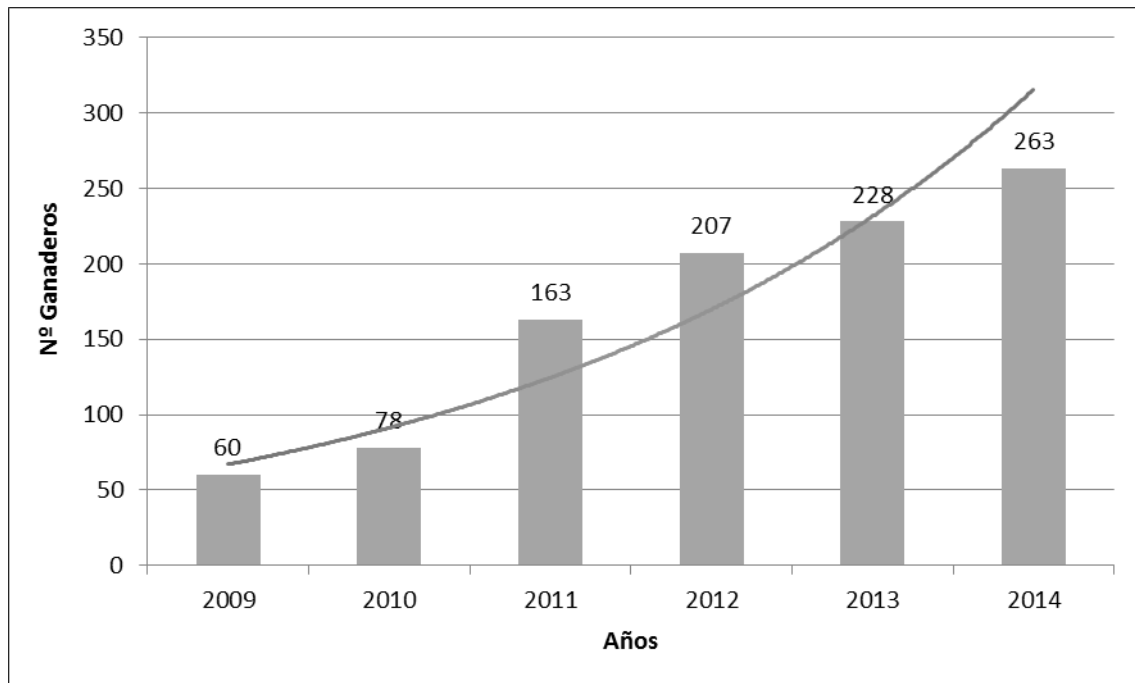


Figura 4.17. Evolución del número de ganaderos presentes en el Programa de Mejora del caballo Hispano - Árabe desde el año 2009 al 2014.

Fruto de todo el esfuerzo que realizan los ganaderos, UEGHá y el grupo PAIDI AGR-218 cada año se logra realizar la evaluación genética. Dicho éxito queda plasmado con la posterior publicación de los resultados a través de un catálogo de Reproductores y Jóvenes Reproductores Recomendados de la raza Hispano-Árabe (**Figura 4.18**).



Figura 4.18. Catálogos de Reproductores Mejorantes y Jóvenes Reproductores Recomendados presentados anualmente.

Otra muestra de la evolución positiva del trabajo que se viene realizando, es la obtención de tres premios de alto renombre en el sector equino, como es el galardón “Campeón de Campeones” otorgado en la Feria EQUISUR (Tabla 4.14).

Tabla 4.14. Hispano – Árabes que han obtenido el máximo galardón de concursos interraciales.

NOMBRE	AÑO	GALARDÓN
Ansarito CD 50%	2010	CAMPEÓN DE CAMPEONES EN LA XIX EDICIÓN DE EQUISUR
Incauto 31,25%	2012	CAMPEÓN DE CAMPEONES EN LA XXI EDICIÓN DE EQUISUR
Grullo 65,67%	2013	CAMPEÓN DE CAMPEONES EN LA XXII EDICIÓN DE EQUISUR

4.5.- DISCUSIÓN

4.5.1.-Evaluación genética

En los inicios de la utilización de las evaluaciones genéticas en la especie equina se detectaron diferentes problemas potenciales y que en años posteriores se han ido perfeccionando. En algunos países como EEUU, las evaluaciones genéticas se han adoptado lentamente como herramientas para la selección animal. Siendo en 1986 el

caballo Islandés la primera raza en publicar oficialmente los valores genéticos estimados usando la metodología BLUP (Sigurdsson y *cols.*, 1997; Dubois y *cols.*, 2008).

La aplicación de los esquemas de selección en caballos es de más difícil implementación que en otras especies, principalmente debido a la complejidad de los tipos de información que generan. Además, existen muchas diferencias en muchos aspectos, como son la estructura de la población, variedad de los valores obtenidos y utilización de diferentes metodologías (Dubois y Ricard 2007).

Por otra parte, diferentes estudios han mostrado que algunos caracteres económicamente importantes son moderados o altamente heredables, indicando que el progreso genético desde la selección puede realizarse (Burns y *cols.*, 2004).

En la raza equina Hispano-Árabe, se viene realizando las evaluaciones genéticas desde el año 2009, presentando y publicando anualmente un catálogo de reproductores recomendados y que están disponibles a través de internet: (<http://www.caballohispanoarabe.com/reproductores.html>).

Sin embargo, es difícil la comparación de estos resultados con otros estudios, debido a que no existen programas de mejora similares al aplicado en el caballo HÁ. En la gran mayoría de las razas equinas del panorama nacional e internacional sus objetivos de cría son la doma, salto o concurso completo. No obstante, el estudio realizado por Posta y *cols.* (2009b) muestra una similitud al nuestro, realizando la evaluación genética en una población pequeña (1368 animales presentes en la matriz de parentesco), utilizando la metodología REML y evaluando los aires básicos en caballos (paso, trote y galope). Por lo tanto, podemos corroborar a lo dicho por otros autores que la mejora en la especie equina puede realizarse a pesar de tener esquemas muy complejos y de difícil implantación.

Reforzando lo anteriormente citado, los valores genéticos obtenidos en este estudio son altos y aceptables, lo que ofrece una amplia horquilla de animales mejorantes genéticamente y que serán potenciales candidatos para ser utilizados en los apareamientos (**Tablas 4.2 y 4.3**). Respecto a esto, Dubois y *cols.* (2008) en un estudio realizado sobre la optimización de los esquemas de selección en el caballo de Deporte

Francés, encontraron que el total de nacimientos cada año era de 5.000 machos, y que, a los 3 años de edad se podía seleccionar el 80% de los mejores sementales.

Con estos estudios, se demuestra que la utilización de la evaluación genética nos permite identificar los mejores animales que serán utilizados como futuros reproductores es decir, como padres y madres de las siguientes generaciones (Van Vleck 1993). Ström y Philipsson (1978) dijeron que el cambio genético debido a la selección se verá afectado por la intensidad de selección, la variación genética, la precisión de la selección y el intervalo generacional, por tanto se debe trabajar en estos aspectos para avanzar en los programas de mejora equina.

Los resultados obtenidos en la presente evaluación genética indican la eficacia de la metodología aplicada, disponiéndose de una apropiada estructura de los datos, de excelentes parámetros genéticos propios y de una correcta aplicación de un Modelo Animal con Observaciones Repetidas. Ante esto, cabe añadir que en los últimos años se han publicado diferentes estudios referentes a la búsqueda de soluciones a los objetivos de mejoramiento equino; entre ellos, lo publicado por Koenen (2004) que se centró en estudiar los objetivos de mejora de los caballos de Deporte, o la revisión de los procedimientos aplicados en las pruebas funcionales de diferentes sistemas de cría (Thorén Hellsten y cols., 2006). Por lo tanto, los esquemas de selección comparten los mismos objetivos, pero los procedimientos metodológicos van a variar dependiendo de la raza.

En los últimos 25 años se ha mejorado en el funcionamiento de los sistemas de cría actuales (Huizinga 1990; Bruns y Schade 1998), como es el caso de la utilización de las estaciones de prueba de sementales. Dubois y cols. (2008), manifestaron que estas estaciones de prueba permiten la comparación de diferentes sementales en el mismo entorno, pero sólo un pequeño número de candidatos pueden ser probados. Información ratificada por Gerber y cols. (2000), donde se dijo que los sementales comparten las mismas características con respecto a la mejora genética, pero se limita a un pequeño número de sementales. Al día de hoy estas estaciones de prueba en el caballo Hispano-Árabe no se pueden implantar, debido principalmente a las limitaciones del número de efectivos en la población y a los costes que supondría su implementación.

Si nos limitáramos al uso exclusivo de estas pruebas y dejáramos toda la información generada en otras pruebas (concursos morfológicos, PSCJ), veríamos reducido drásticamente el número de observaciones disponibles y por lo tanto los resultados se verían afectados. Así mismo, como consecuencia directa tendremos escasos de ejemplares mejorantes y pobremente podremos apreciar un progreso genético en nuestra raza.

Por otro lado, se analizó el ranking por criterios y se apreció la presencia continua de varios sementales y yeguas, esto da una buena idea de que las puntuaciones obtenidas por cada uno de ellos son constantes y que están asociados a una mayor repetibilidad de los mismos. Fruto de estos resultados estos ejemplares aparecen en la élite de los más destacados de la población; un ejemplo de ello es Bombon MM 50%, Carioca 25%, Decathlon 37,5% y Zacatin 62,5%, animales presentes en el catálogo de reproductores mejorantes recomendados de las últimas 5 evaluaciones genéticas. Situación parecida se da con Ansarito CD 50%, Atenea HR 50%, Embite 81,25%, Egipcio 37,5%, Grullo 65,67%, Iluso 75% y Pamela 50%, todos ellos Hispano-Árabes presentes en los últimos 4 catálogos. Con estos resultados podemos inferir que estos reproductores son mejorantes y por lo tanto se mantendrán en la élite de la raza; sin embargo, se espera que a este núcleo selecto se vaya sumando su progenie caso contrario no estaríamos cumpliendo con el comportamiento normal del progreso genético.

Así mismo, hay que destacar la presencia de sementales y yeguas jóvenes en el ranking, teniendo en cuenta que el intervalo generacional para sementales en esta raza se encuentra en 8,31 años (Gómez y cols., 2011). Si se analiza de forma individual y tomamos como ejemplo el ranking para el carácter paso podemos observar que 8 de los 10 machos tienen una edad en promedio de 8 años. No sucede lo mismo con lo reportado por Dubois y cols. (2007) en el caballo de Deporte Francés, encontrando intervalos generacionales altos (10,5 a 12,8 años) comparados con los obtenidos en el caballo Hispano-Árabe. Estos jóvenes reproductores recomendados podrían formar parte de los futuros reproductores mejorantes de la población, lo que confirmaría que el progreso genético se está llevando a cabo.

Además, el conocimiento de los valores genéticos permite a los propietarios tomar futuras decisiones. De tal forma decidirán a que animales mantendrán en sus ganaderías como reproductores mejorantes y cuales podrían incorporar. Cada criador debe decidir qué criterio usar y en qué medida. La metodología para la evaluación genética es la misma para todos los criterios de selección.

La efectividad relativa de un criterio está condicionada a la magnitud de su heredabilidad. Si la heredabilidad es alta, la selección es más eficiente (Posta y cols., 2009b), y si a esto añadimos que la selección se basa en la información propia del animal esta afirmación toma más relevancia (Hintz 1980). Por último, Posta y cols. (2009b) sugieren que si la selección se basa en el rendimiento funcional propio del animal la edad preferible para su selección se sitúa entre los 10 y 11 años.

4.5.2.- Tendencias genéticas y fenotípicas

Para que un programa de cría sea eficaz hay que conocer la condiciones genéticas del pasado y del futuro, por ello la importancia de determinar las tendencias genéticas de la población (Viklund y cols., 2011).

Al igual, que en otras razas del mundo (Koenen y cols., 2004), los criadores quieren optimizar y aumentar los criterios de selección en los objetivos de mejora. Además de los aires básicos y la armonía existen otros caracteres de interés (doma vaquera, raid, etc.). En tal caso, para agregar o modificar los criterios es necesario mantener un esquema de mejoramiento efectivo e identificar las cualidades y los inconvenientes del actual plan de selección. Ante estas razones, analizar el manejo genético llevado en el caballo Hispano-Árabe desde sus inicios hasta la actualidad es sustancial.

El progreso genético encontrado para la armonía y los aires básicos (paso, trote y galope) se incrementan de forma discreta entre los años 1960 al 2008, los cambios genéticos anuales fueron bajos y llegando a tener años con tendencias negativas. Razas europeas han experimentado la misma tendencia, como Árnason (1987) quien lleva más de 20 años estimando tendencias genéticas en el Pura Sangre Suizo (SWH); Bruns (1990) que encontró considerables cambios en el Pura sangre Alemán desde 1970 a 1982; y más recientemente, las tendencias genéticas para el Caballo de Silla Francés (SF) fueron

estudiadas por Dubois y Ricard (2007). Todos estos estudios mostraron un leve o moderado progreso genético y observándose una tendencia irregular, lo que demuestra que no existía manejo zootécnico alguno en la mejora genética de la raza.

Si observamos el comportamiento en el caballo HÁ a partir del año 2009 el progreso genético se incrementa notablemente respecto al período anterior (**Tabla 4.12**). Este resultado responde al efecto de tres hitos importantes del programa de mejora; primero, la oportunidad de juzgar a todos los caballos (jóvenes y adultos) en su conformación y aires básicos; segundo, el perfeccionamiento de la metodología de acuerdo a las circunstancias de la raza; y tercero, la implicación de los criadores en el Programa de Mejora con la concurrencia más frecuente a las diferentes pruebas funcionales y morfológicas y al uso de sementales probados.

El comportamiento de nuestra raza es muy similar a lo ocurrido en otras razas equinas europeas (Viklund y cols., 2011). Apreciando que el progreso genético es más pronunciado en aquellos Programas de Mejora dónde el funcionamiento de todas sus estructuras es el correcto. Por otro lado, analizando de forma individual cada carácter, la velocidad de mejora fue claramente positiva para los caracteres armonía, trote y galope. Sin embargo, estos resultados difieren en parte con lo encontrado por Viklund y cols. (2011) donde el mayor progreso lo mostró el galope.

Por el contrario, si estos resultados lo comparamos con otras razas, observamos que el incremento genético no es tan relevante. Esta situación puede justificarse principalmente porque en el caballo Hispano – Árabe el programa de mejora lleva en pleno funcionamiento pocos años, estrictamente desde el año 2009. Árnason (1987), estudiando el progreso genético en la raza SWE en un periodo de tiempo de 7 años, concluyó que fue un corto período de tiempo y por lo tanto es difícil sacar conclusiones firmes. Para el mismo periodo de tiempo Viklund y cols. (2011), no obtuvieron casi ningún progreso en ninguno de los rasgos estudiados y el progreso genético verdadero ocurrió más tarde. A pesar de ello, muchas razas equinas experimentan grandes progresos genéticos en sus ganaderías (Bruns 1990; Hellsten y cols., 2009; Stewart y cols., 2010). Los autores explican que las tendencias positivas con considerables progresos genéticos

están promovidas básicamente por la introducción de la metodología BLUP en estas poblaciones y el uso masivo de los reproductores mejorantes.

4.5.3. - Evolución de precisiones

En la **Tabla 4.2** y **4.3** se muestran los valores máximos de las precisiones en cada carácter y por sexos, observándose precisiones superiores a 0,70. Las precisiones se definen como la correlación entre el verdadero valor de cría y el estimado. Olsson y *cols.* (2008) sugieren que una manera de mejorar la precisión de los valores genéticos es incrementando la información individual y familiar, y posteriormente ser analizados utilizando la metodología BLUP.

Del mismo modo, según Albertsdóttir y *cols.* (2007) la inclusión de nuevas fuentes de información en la evaluación genética sobre cada individuo se consigue un incremento de la precisión de la evaluación genética. Escenario que coincide con lo encontrado en este estudio, donde la precisión se ha incrementado y estabilizado en los últimos años (**Figura 4.9**). Tendencia positiva por la participación cada vez más frecuente de los animales en las distintas pruebas de rendimiento. También Dubois y *cols.* (2008), encontraron que la precisión mejoraba si utilizaban todos los tipos de información, pasando de 0,50 si usaban solo la información de un tipo de competición a 0,61 si utilizaban dos tipos de competición.

De cualquier modo, es ciertamente lógico que los animales de más edad muestren mayor precisión en las evaluaciones actuales, porque son ellos, en general, los que poseen una mayor información familiar.

Por otro lado, en el Pura Sangre Suizo se encontró que la precisión de los valores genéticos se incrementó en un 34% para la doma y 13% para el salto de obstáculos, mientras que para sementales con pocas o ninguna prueba, la precisión mejoraba en un 11% para el salto y 5% para el salto de obstáculos (Viklund y *cols.*, 2011).

Por último, la media de la precisión encontrada en el HÁ fue ligeramente inferior (0,61) a lo encontrado por Dubois y Ricard (2007) en el caballo de Silla Francés (0,63).

Resultado menor pero aceptable por ser una raza que lleva pocos años en pleno funcionamiento de su esquema de selección.

Por consiguiente, las precisiones encontradas muestran el mismo patrón que las tendencias genéticas, percibiendo un cambio positivo a partir del año 2009 y confirmándose que en años anteriores la selección que se estaba realizando era puramente masal.

4.5.4.-Evolución de la información

Varios autores (Camacho 2002; Albertsdóttir y cols., 2007), han mencionado que una matriz de parentesco bien estructurada, con un número adecuado de registros es de gran importancia en las evaluaciones genéticas. A la vez, la precisión de los valores de cría se vería influenciados por este incremento. Por lo tanto, la calidad y cantidad de información deben estar garantizados.

Teniendo en cuenta estas recomendaciones, se puede indicar que en la última evaluación genética (2014) se mejoró satisfactoriamente estos criterios de calidad y cantidad de información, teniendo un crecimiento exponencial respecto a los primeros años de funcionamiento (2009).

Respecto a la información fenotípica, hay que resaltar que en los últimos cuatro años (2011 a 2014) el incremento fue notable, teniendo en el último año 3.480 registros. Resultado provocado por el aumento del número de pruebas funcionales y morfológicas realizadas en la raza, partiendo de tres pruebas morfológicas realizadas en el año 2009 a seis pruebas morfológicas y/o funcionales realizadas en el año 2014. Además, a todo esto, hay que destacar la inclusión de registros para la Doma Vaquera, criterio de selección establecido en el Programa de Mejora y con el cual se pretende obtener caballos con unas aptitudes funcionales que les permitan destacar en las competiciones deportivas en las que participen. Asimismo, se observa claramente (**Figura 4.15**) que la participación de los animales en este tipo de prueba es importante, aunque este número de registros al día de hoy no es suficiente para realizar una evaluación genética creemos que en un futuro próximo se pueda cumplir con este objetivo.

Varios estudios confirman que disponer de información fenotípica propia es muy importante para obtener estimas más cercanas al valor real, sin embargo, esto no quiere decir que la información de sus parientes no sea tan importante como la suya, sino que disponer de información propia es conocer su habilidad individual.

Como resultado de todo el esfuerzo realizado por ganaderos y Asociación hacen que el Programa de Mejora del caballo Hispano-Árabe se encuentra en una verdadera “**revolución**” genética. Confirmándose esta revolución, con la obtención del máximo galardón de concursos interraciales “Campeón de Campeones”, otorgados a tres Hispano-Árabes, cuestión que no ocurría en el pasado anterior al desarrollo del esquema de selección. Sementales destacados en diferentes pruebas morfológicas y funcionales que se realizan anualmente (**Tabla 4.14**).

Por último, fomentando la participación de los animales en las diferentes pruebas y el compromiso cada vez más fuerte por parte de los ganaderos hacen que resulte mucho más fácil y eficaz el desarrollo y el progreso del Programa de Mejora de la raza.

4.6.- CONCLUSIONES

- Mediante la utilización de un correcto Modelo Animal con Observaciones Repetidas y la aplicación de la metodología BLUP se aprecian valores genéticos aceptables en el caballo Hispano – Árabe.
- La selección masal aplicada antes del año 2007 en esta raza no ha resultado beneficiosa en ninguno de los caracteres analizados. El progreso genético se incrementa sustancialmente a partir de este periodo. Esta tendencia positiva es resultado de la utilización de sementales de alta calidad genética, la existencia de más pruebas de caballos jóvenes y la introducción de la evaluación genética mediante la metodología BLUP dando un salto de calidad al esquema con métodos modernos y originales.
- Las tendencias fenotípicas mostraron una evolución negativa, quedando claro con esto, que aspectos no genéticos como, la alimentación, los entrenamientos, la sanidad, etc. no han mostrado una evolución favorable y además se ha podido

producir una tendencia al endurecimiento de las calificaciones por parte de los jueces.

- La precisión de los valores de cría ha ido evolucionando positivamente, fruto del incremento permanente de la información genealógica y fenotípica.
- Atendiendo a la homogeneidad en intensidad y precisión de los valores de cría de machos y hembras, así como al bajo valor del ratio sexual, se apoya la utilización de las cuatro vías selectivas en los programas de apareamiento, ya que todas son eficaces en la producción de progreso genético.
- En el futuro, se debe poner más énfasis en la selección de sementales mejorantes propuestos en los catálogos de reproductores. Los ganaderos deben ser alentados a utilizar yeguas y sementales probados genéticamente.

4.7.- BIBLIOGRAFÍA


- Albertsdóttir E., Eriksson S., Näsholm A., Strandberg E. & Árnason T. (2007) Genetic analysis of competition data on Icelandic horses. *Livestock Science* **110**, 242-50.
- Aparicio J.B. (1997) Morphological contests and its importance in the selection. In: *The Spanish horse* (ed. by Junta-de-Andalucía), pp. 23-4, Seville, Spain.
- Árnason T. (1987) Contribution of various factors to genetic evaluations of stallions. *Livestock Production Science* **16**, 407-19.
- Boldman K.L. (1993) *A Manual for Use of MTDFREML. A Set of Programs to Obtain Estimates of Variances and Covariances [DRAFT]*. U. S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service.
- Bruns E. (1990) Breeding values and estimation of genetic trends in riding horses. In: *Proc. 4th World Congr. Gen. Appl. Livest. Prod*, pp. 206-8.
- Bruns E. & Schade W. (1998) Genetic value of various performance test schemes of young riding horses. In: *Proc. 6th World Congr. Gen. Appl. Livest. Prod*, pp. 420-3.
- Burns E.M., Enns R.M. & Garrick D.J. (2004) The status of equine genetic evaluation. In: *Proceedings, Western Section, American Society of Animal Scienc*, pp. 82 - 6.
- Camacho M.E. (2002) Estudio de la variabilidad fenotípica y genética de los caracteres productivos del tipo Tinerfeño de la Agrupación Caprina Canaria. In: *Departamento de Genética*. Universidad de Córdoba, Córdoba, España.
- Carolino R.N.P. (2006) Estratégias de Selecção na Raça Bovina Alentejana. In: *Faculta de Medicina Veterinaria*. Universidad Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Delgado J.V., León J.M., Gómez M.M. & Fernández J. (2012) Reglamentación Específica del Libro Genealógico y del Programa de Mejora del Caballo de Pura Raza Hispano-Árabe. In: *BOE 175*, pp. 1 - 24., Madrid
- Dubois C., Manfredi E. & Ricard A. (2008) Optimization of breeding schemes for sport horses. *Livestock Science* **118**, 99-112.
- Dubois C. & Ricard A. (2007) Efficiency of past selection of the French Sport Horse: Selle Français breed and suggestions for the future. *Livestock Science* **112**, 161-71.

- Erasmus G.J. (1990) Genetic stability of two Merino Sheep control populations. In: *4th world congress on genetic applied to the livestock production*, pp. 81-3, Edimburgh, Scotland.
- Gama L.T., Matos C.P. & Carolino N. (2004) Modelos Mistos em Melhoramento Animal. In: *Arquivos Veterinários* (ed. by Ministério da Agricultura dDRéP, Portugal.). Direcção Geral da Veterinária.
- Gerber Olsson E., Árnason T., Näsholm A. & Philipsson J. (2000) Genetic parameters for traits at performance test of stallions and correlations with traits at progeny tests in Swedish warmblood horses. *Livestock Production Science* **65**, 81-9.
- Gómez M., León J.M. & Delgado J.V. (2011) Análisis demográfico de la raza equina Hispano-Árabe. *Archivos de Zootecnia* **60**, 341-4.
- Hammond K., Graser H.U. & McDonald A. (1992) *Animal breeding: the modern approach : a textbook for consultants, farmers, teachers and for students of animal breeding*. Post Graduate Foundation in Veterinary Science, University of Sydney.
- Hellsten E.T., Näsholm A., Jorjani H., Strandberg E. & Philipsson J. (2009) Influence of foreign stallions on the Swedish Warmblood breed and its genetic evaluation. *Livestock Science* **121**, 207-14.
- Henderson C.R. (1975) Best linear unbiased estimation and prediction under a selection model. *Biometrics* **31**, 423-47.
- Hintz R.L. (1980) Genetics of Performance in the Horse. *Journal of Animal Science* **51**, 582-94.
- Holmström M., Magnusson L.E. & Philipsson J. (1990) Variation in conformation of Swedish warmblood horses and conformational characteristics of elite sport horses. *Equine Veterinary Journal* **22**, 186-93.
- Huizinga H.A. (1990) Genetic studies on performance of dutch warmblood riding hors. pp. 79-94., The Netherlands, Wageningen.
- Jhonson D.L. & Garrick D.J. (1990) Data collection, processing and prediction of breeding values. In: *proceedings of the 4th W.C.G.A.L.P*, pp. 337-46, Edinburgh, Scotland.
- Kennedy B.W., Schaeffer L.R. & Sorensen D.A. (1988) Genetic Properties of Animal Models. *Journal of Dairy Science* **71**, Supplement 2, 17-26.
- Koenen E.C.P. (2002) Prüfungsverfahren und Zuchtwertschätzung für Sportpferde im internationalen Vergleich. *Archives für Tierzucht* **45**, 38-44.
- Koenen E.P.C., Aldridge L.I. & Philipsson J. (2004) An overview of breeding objectives for warmblood sport horses. *Livestock Production Science* **88**, 77-84.
- Lobo R.B., Reyes A. & Bezerra L.A. (1997) Avaliação genética de animais jovens, touros e matrizes. In: (ed. by Nelore Pdmgdr), p. 61. USP-FMRP.
- Olsson E., Näsholm A., Strandberg E. & Philipsson J. (2008) Use of field records and competition results in genetic evaluation of station performance tested Swedish Warmblood stallions. *Livestock Science* **117**, 287-97.
- Posta J., Komlosi I. & Mihok S. (2009a) Breeding value estimation in the Hungarian Sport Horse population. *Vet J* **181**, 19-23.
- Posta J., Komlósi I. & Mihók S. (2009b) Breeding value estimation in the Hungarian Sport Horse population. *Veterinary Journal* **181**, 19-23.
- SAS I. (2009) What's New in SAS® 9. 2. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Schroderus E. & Ojala M. (2010) Estimates of genetic parameters for conformation measures and scores in Finnhorse and Standardbred foals. *J Anim Breed Genet* **127**, 395-403.

- Sigurdsson A., Hugason K. & Árnason (1997) Breeding strategies and genetic progress in the Iceland toelter population. In: *48th Annual Meeting of Eur. As soc. Anim. Prod.*, p. 377, Vienna.
- Silva L.O., Filho K.E., Figueiredo G.R., Nobre P.R. & Josahkian L.A. (1998) Genetic trends in Zebu (*Bos indicus*) breeds in Brazil. In: *proceeding of the 6th W.C.G.A.L.P.*, pp. 137-40, Armidale, Australia.
- Stewart I.D., Woolliams J.A. & Brotherstone S. (2010) Genetic evaluation of horses for performance in dressage competitions in Great Britain. *Livestock Science* **128**, 36-45.
- Ström H. & Philipsson J. (1978) Relative importance of performance tests and progeny tests in horse breeding. *Livestock Production Science* **5**, 303-12.
- Suontama M., van der Werf J.H.J., Juga J. & Ojala M. (2011) The use of foal and studbook traits in the breeding programmes of Finnhorse and Standardbred trotters. *Journal of Animal Breeding and Genetics* **128**, 114-23.
- Thorén Hellsten E., Viklund Å., Koenen E.P.C., Ricard A., Bruns E. & Philipsson J. (2006) Review of genetic parameters estimated at stallion and young horse performance tests and their correlations with later results in dressage and show-jumping competition. *Livestock Science* **103**, 1-12.
- Valencia P., M. , Dobler L., J. & Montaldo H.H. (2005) Genetic trends for milk yield in a flock of Saanen goats in Mexico. *Small Ruminant Research* **57**, 281-5.
- Valera M., Gessa J.A., Gómez M.D., Horcada A., Medina C., Cervantes I., Goyache F. & Molina A. (2005) Preliminary analysis of the morphofunctional evaluation in horse-show of the Spanish Purebred (Andalusian) horse. In: *56th Annual Meeting of the European Association for Animal Production*, pp. 5-8. European Association for Animal Production, Uppsala, Sweden.
- Van Vleck L.D. (1993) *Selection Index and Introduction to Mixed Model Methods*. CRC Press.
- Van Vleck L.D., Pollak E.J., Oltenacu E.A.B. & Freeman W.H. (1987) *Genetics for the animal science*, New York.
- Viklund Å., Näsholm A., Strandberg E. & Philipsson J. (2011) Genetic trends for performance of Swedish Warmblood horses. *Livestock Science* **141**, 113-22.
- Woolliams J.A. & Thompson R. (1994) A theory of genetic contribution. In: *proceeding of the 5th World Congress on Genetic Applied to Livestock Production*, pp. 127 - 34., Guelph, Canada.



Capítulo V: ESTUDIO GENÉTICO EN EL CABALLO HISPANO-ÁRABE:

- I. Caracterización genética
 - II. Asignación de los individuos a las poblaciones
 - III. Uso del porcentaje de sangre vs el coeficiente de asignación
- 

5.1.- RESUMEN

Pruebas de asignación con el uso de marcadores microsatélites permiten la determinación de cruces entre razas y la homogeneidad intra-raza. El caballo Hispano-Árabe posee diferentes proporciones de genes que son heredados de sus razas fundadoras y que la convierten en una de las razas equinas más polivalente y popular en el sector equino español. Para describir la posible especificidad intra e inter-raza, estudiar la diversidad y estructura genética de la población se analizaron 17 marcadores moleculares autosómicos de tipo microsatélite en 438 muestras de la raza equina Hispano-Árabe, junto a otras 3 razas equinas de la Península Ibérica. Las herramientas moleculares y estadísticas parecen ser la mejor elección para esta evaluación como complemento a la asignación actual del porcentaje de sangre basada en la genealogía de los individuos. Posibles diferencias en la estimación de los parámetros genéticos y valores genéticos ocasionados por los efectos de dominancia han sido disipadas en el presente estudio, encontrando que los resultados obtenidos con la utilización de los porcentajes de sangre como los coeficientes de asignación muestran una alta correlación. Los resultados presentados en este estudio tienen importantes implicaciones para el uso, conservación y mejora genética de la raza Hispano-Árabe. Los resultados del análisis de diferenciación genética mostraron que es posible diferenciar al caballo Hispano-Árabe de sus razas fundadoras, siendo obtenido un valor de theta (0,0623). Los individuos podrían ser asignados a sus poblaciones con una tasa de éxito de más del 82%. El análisis bayesiano de agrupamiento basado en las frecuencias alélicas y análisis multivariado reveló que la población del caballo Hispano-Árabe se agrupó en un diferente grupo desde $K = 4$. El número medio de alelos (8,59), la heterocigosidad observada (0,72) y esperada (0,71) sugieren que la población posee un alto grado de variabilidad genética. El caballo Hispano-Árabe es un recurso genético valioso con un alto nivel de diversidad genética y los análisis muestran que existe una diferenciación genética del resto de poblaciones. En cuanto a la estructura genética, la raza Hispano-Árabe es una población que empieza a ser homogénea genéticamente por lo que se sugiere que el programa de cría debe gestionarse correctamente para mantener la diversidad alélica global de la población.

Palabras clave: Equino, asignación, estructura genética, análisis del pedigrí, diversidad genética.

SUMMARY

Microsatellite marker assignment tests have allowed to detect breed cross determinations together with an intra-breed homogeneity. The Hispano-Arabe Horse displays different gene proportions inherited from its founding breeds thus converting it in one of the most versatile and popular equine breeds of the Spanish equine sector. To describe the possible intra and inter-breed specificity and to study the population's genetic diversity and structure, 17 autosomal microsatellite type molecular markers were analyzed with respect to 438 samples of the Hispano-Arabe equine breed together with other 3 equine breeds derived from the Iberian Peninsula. The molecular and statistical tools appear to be the best choice for this assessment as a complement to the current allocation of blood percentage based on the individual's genealogy. Possible differences in the estimation of the genetic parameters and breeding values caused by dominance effects have been dissipated in the present study, establishing a high correlation between the blood percentages and the allocated coefficients. The results presented in this study hold important implications for the use, conservation and genetic improvement of the Hispano-Arabe Horse breed. The results of the genetic differentiation analysis ascertained the possibility of differentiating the Hispano-Arabe Horse from its founder breeds, having obtained a theta value of 0.0623. Individuals could be assigned to their populations with a success rate of over 82%. The Bayesian clustering analysis based on the allelic frequencies and a Multivariate Analysis revealed that the Hispano-Arabic Horse population was assembled in a different group starting at $K = 4$. The average number of alleles (8.59), the observed (0.72) and the expected (0.71) heterozygosity rates suggest that the population enjoys of a high genetic variability degree. The Hispano-Arabe Horse is a very valuable genetic resource comprising a high genetic diversity level and the analysis has indicated an existing genetic differentiation from other populations. As to the genetic structure, the Hispano-Arabe breed is beginning to be a genetically homogeneous population, therefore the need emerges to suggest that breeding programs must be managed properly in order to keep the overall allelic diversity of the population.

Keywords: Equine, Assigination, Genetic Structure, Pedigree Analysis, Genetic Diversity.

5.2.- INTRODUCCIÓN

El caballo Hispano – Árabe (HÁ) es una de las razas equinas españolas con más popularidad en la última década, posiblemente atribuido a la versatilidad que ofrece este caballo en diferentes disciplinas deportivas. Actualmente la raza Hispano-Árabe está catalogada en peligro de extinción según el catálogo oficial de razas de ganado de España (www.magrama.gob.es). Geográficamente se distribuye por todo el territorio español, pero su mayor concentración está localizada en el sur de la Península Ibérica.

Porcentaje de sangre en la raza HÁ

La formación del caballo HÁ surge del cruzamiento dirigido entre las razas Pura Raza Español (PRE) y Pura Raza Árabe (PRÁ), y por esta particularidad pueden existir individuos con diferente porcentaje de sangre española y árabe dentro de la raza. Por "sangre" se entiende el porcentaje de genoma de una raza tomada como referencia, en este caso el PRÁ, que contienen los caballos de la raza HÁ. Por lo tanto, si un animal procede del cruce de un progenitor PRÁ y un PRE puros será un HÁ 50%, mientras que un animal fruto del cruce de un HÁ 50% y un PRE puro será un HÁ 25% y así sucesivamente. La asignación actual del porcentaje de sangre se realiza en base a la genealogía de los individuos, aunque en este cálculo pueden existir errores, debido principalmente al desconocimiento del pedigrí completo de los animales del registro auxiliar.

El modelo utilizado en el cálculo de los parámetros genéticos y en la evaluación genética de la raza equina Hispano-Árabe tiene en consideración varios efectos, siendo uno de ellos los niveles de sangre, entendidos como tales las proporciones genéticas referidas a la raza Árabe en cada individuo deducidas de los registros genealógicos, cuando existen. Esta particularidad podría conllevar a que se generen diferencias en la estimación de los parámetros genéticos y valores genéticos ocasionados por los efectos de dominancia. Aunque inicialmente esta raza se originó como un caballo de trabajo, en la actualidad su uso en las labores de campo ha disminuido y su principal orientación productiva es la deportiva (Doma Vaquera, Raid, Concurso Completo). Se busca seleccionar ejemplares que destaquen en cualquiera de los criterios de selección establecidos en el Programa de Mejora, por lo que es fundamental disponer una base de

datos genealógicos y productivos veraces y contrastados, para posteriormente aplicar un modelo animal con garantía. El objetivo de este capítulo es comprobar la eficacia de los marcadores moleculares para estimar de manera exacta el porcentaje de sangre en los animales evaluados y utilizar este parámetro como un efecto adicional a tener en cuenta en el modelo de la evaluación genética.

Se pretende verificar con este análisis si en los animales Hispano-Árabe hay diferencias de valor genético en alguna característica dependiendo del porcentaje de genotipo de la raza de referencia. Esta información podría ser de gran ayuda en la estimación del fenómeno de heterosis (vigor híbrido), proporcionando una mayor eficiencia en la estimación de los valores genéticos aditivos no sesgados por la dominancia, lo que supondría un gran avance para el programa.

Los marcadores genéticos de ADN ofrecen la oportunidad de utilizar genotipos individuales para determinar la población de origen de los individuos (Davies y col., 1999). Basándose en las diferencias en las frecuencias alélicas entre poblaciones y en los genotipos observados de un individuo, es posible calcular la probabilidad individual de pertenecer a distintas poblaciones (Vega-Pla y col., 2003). Sin embargo, hay varios factores que afectan la posibilidad de identificar diferentes grupos genéticos, incluyendo la diferenciación genética entre poblaciones, clase, cantidad y variabilidad de marcador genético, el número de animales analizados por raza y por último, la elección de los métodos de asignación (Cornuet y col., 1999; Hansen y col., 2001). Los métodos de asignación se pueden utilizar para realizar estudios genéticos evolutivos, ecológicos y de población, siendo varios los métodos estadísticos empleados para realizar asignación de individuos a poblaciones (Rannala y Mountain, 1997; Waser y Strobeck, 1998; Bjornstad y Roed, 2002). El uso de estos procedimientos probabilísticos ya han sido aplicados para estudiar la estructura genética de poblaciones (Pritchard y col., 2000; Bjornstad y Roed, 2002; Vega-Pla y col., 2003; Corander y col., 2008; Thirstrup y col., 2008; Martínez y col., 2010).

Diversidad genética del caballo HÁ

Se estudia la estructura y diversidad genética de la raza equina Hispano-Árabe con microsatélites. Los resultados obtenidos permitirán encaminar las actuaciones de gestión del caballo Hispano-Árabe. El desarrollo de técnicas de biología molecular a través de marcadores moleculares autosómicos de tipo microsatélite es una herramienta fundamental para determinar la variación genética de las poblaciones, (Oldenbroek, 1999). Estos marcadores genéticos, proporcionan información apropiada para el cálculo de parámetros de variación genética intra-racial y conocer los niveles de heterocigosis. La diversidad genética de las especies ganaderas es un valor que condiciona otros muchos como son la adaptación y la viabilidad de una especie o raza a entornos muy variables. Además, la existencia de una elevada diversidad genética garantiza el desarrollo de futuras líneas de investigación orientadas a la identificación de genes relacionados con caracteres productivos o con la resistencia o susceptibilidad a determinadas enfermedades.

Para analizar la estructura genética generalmente se parte de una agrupación predefinida formada por una o más poblaciones, en este caso razas, representadas por un conjunto de individuos. La estimación de las frecuencias alélicas de una muestra de la población permite analizar el grado de relación entre diferentes poblaciones y con las herramientas adecuadas asignar individuos de origen desconocido a una población u otra. Los resultados obtenidos dependen de la estructura de las poblaciones inicialmente definidas, lo que en ocasiones plantea ciertas dificultades ya que un individuo se incluye en una u otra población basándose en criterios geográficos, morfológicos, etc., que pueden no coincidir con criterios genéticos, consiguiendo separar en poblaciones distintas individuos que en términos genéticos se incluirían en una misma población o viceversa. Los objetivos planteados en este capítulo fueron los siguientes:

1. Determinar la diversidad genética de la raza equina Hispano-Árabe y su relación genética con sus razas fundadoras.

2. Medir de una manera exacta el porcentaje de sangre de los caballos de la raza HÁ utilizando marcadores moleculares (microsatélites) y las herramientas estadísticas

apropiadas. Utilizando estos coeficientes de asignación se realizó una asignación individual intra-racial y posteriormente utilizar este parámetro para evaluar el comportamiento y tendencias de los criterios de selección.

5.3.- MATERIAL Y MÉTODOS

Los datos genotípicos fueron proporcionados por la Unión Española de Ganaderos de Pura Raza Árabe. Los genotipos fueron obtenidos según la metodología estándar para la especie equina siendo analizados 17 marcadores microsatélites. De estos marcadores, 12 fueron analizados en el laboratorio central de veterinaria, Algete (Madrid). Los 5 restantes están incluidos en el kit comercial originalmente comercializado por Finenzime, StockMark que permite estudiar un set de 17 marcadores. Todos estos marcadores están incluidos en el panel estándar para controles de filiación y recomendados por la International Society of Animal Genetics (ISAG) (Vega-Pla y col., 2006). Se han utilizándolos genotipos de una muestra de 438 caballos HÁ, utilizando como poblaciones de referencia 38 caballos pertenecientes al Pura Raza Árabe (PRÁ), 36 caballos de la raza Pura Raza español (PRE). Como outgroup se utilizaron 46 caballos pertenecientes a la raza Pura Sangre Inglés (PSI).

5.3.1.- Caracterización genética

Pueden realizarse dos tipos de análisis sobre poblaciones usando datos moleculares: el cálculo de parámetros de diversidad genética y el análisis de la estructura de la población. A continuación, se describe los distintos parámetros estimados para caracterizar genéticamente a la raza Hispano-Árabe:

a) Análisis de la diversidad genética intra-racial

Utilizando el programa MICROSATELLITE TOOLKIT software para Excel (Park, 2001) se han calculado los siguientes parámetros:

Número medio de alelos por locus (MNA): Es la suma de todos los alelos detectados en todos los loci, dividido por el número total de loci. Se considera que es un indicador razonable de variación genética. Esto es cierto siempre que las poblaciones estén en equilibrio y que el tamaño de la muestra sea similar para cada población. Las razas con

un bajo MNA tienen variación genética baja debido al aislamiento genético, poblaciones con cuellos de botella o efecto de los fundadores. Un alto MNA implica gran diversidad alélica que podría haber sido influenciado por cruzamiento o mezcla.

Heterocigosidad observada (Ho): Definida como la proporción de heterocigotos que tiene la población. Varias poblaciones pueden tener la misma Ho pero distinta He y es una medida para comprobar en qué grado la población se encuentra o no en equilibrio HW. Puede revelar episodios pasados de consanguinidad o de "cuello de botella" en la población si se estudia estratificando la población en el tiempo.

Heterocigosidad esperada (He): Es la probabilidad de que, en un locus único, cualquier par de alelos, escogidos al azar de la población, sean diferentes entre sí. La He o diversidad genética de todos los loci es una estimación del grado de variabilidad genética en la población y se considera que es el mejor estimador de la variación presente en las poblaciones (Nei, 1987).

Riqueza alélica (RA): Es el recuento del número de alelos observados en un locus en una población. También se puede definir como el número de alelos detectados en todos los loci dividido por el número de loci analizados.

Prueba de equilibrio Hardy-Weinberg (HW): En una población donde los cruzamientos se producen de manera aleatoria en ausencia de mutación, migración y selección, las frecuencias alélicas y genotípicas no varía de generación en generación. Las poblaciones que se encuentran en esta situación se dicen que están en equilibrio Hardy-Weinberg (Hardy, 1908). Las estimaciones se realizaron mediante el programa GENEPOP v. 4.1 (Raymond y Rousset, 1995), que aplica el test exacto de Fisher usando el método en cadena de Monte Carlo Markov (Guo y Thompson, 1992).

Cálculo de los estadísticos F de Wright

La distribución de la variabilidad genética de una población se puede analizar mediante el cálculo de los estadísticos F (Wright, 1965). Los estadísticos F permiten el análisis de la estructura en poblaciones subdivididas. También puede emplearse para medir la distancia genética entre las subpoblaciones, un concepto que se fundamenta en la idea de que aquellas subpoblaciones que no presentan apareamiento entre sí tendrán frecuencias alélicas diferentes a las de la población total. La distancia genética también

proporciona una manera de estimar la probabilidad de encuentro entre alelos iguales (endogamia).

F_{IS} : Mide la deficiencia o el exceso de heterocigotos promedio en cada población, y puede ser una estimación del grado de endogamia en una población o de otras fuerzas que alteren el equilibrio de HW.

F_{ST} : Mide el grado de diferenciación génica entre las poblaciones, en función de las frecuencias alélicas.

F_{IT} : La deficiencia o el exceso de heterocigotos promedio en un grupo de poblaciones. Los parámetros de F_{IS} y F_{IT} toman valores positivos cuando hay un déficit de heterocigotos, y valores negativos cuando hay un exceso de heterocigotos.

La estimación de estos parámetros se llevó a cabo mediante el programa informático GENETIX v. 4.05 (Belkhir y col., 2003), con un intervalo de confianza del 95% y 1000 re-muestréos.

b) Análisis de la diferenciación genética

Análisis molecular de la varianza

Es un método que estudia la variación molecular dentro de una especie. Se basa en un modelo jerárquico o anidado. Los diferentes niveles jerárquicos de la diversidad génica, estudiados por medio del método AMOVA, pueden abarcar continentes, regiones geográficas, zonas dentro de una región, poblaciones dentro de una zona de una región o individuos dentro de una población en una zona específica. El análisis molecular de la varianza se realizó utilizando el programa Arlequín 3.5 (Excoffier y Lischer, 2010).

Las distribuciones de la variabilidad de genes dentro y entre las razas fueron estudiados mediante el análisis de los F-estadísticos (Reynolds y col., 1983; Weir y Cockerham, 1984) que vienen implementados en software Genetix v. 4.05 (Belkhir y col., 2003).

Distancias genéticas y dendrogramas

La distancia genética entre dos poblaciones se describe como la proporción de elementos genéticos (alelos, genes o genotipos) que no son compartidos por ambas poblaciones. Los valores de F_{ST} entre parejas de poblaciones o individuos representan la

endogamia relativa que existe dentro de una raza en relación con el resto de razas analizadas en el estudio y es una medida de diversidad genética muy utilizada en producción animal. Esta medida de distancia entre poblaciones y la construcción de la matriz de colores (heat-map) se realizaron a través del programa Arlequín 3.5 (Excoffier y Lischer, 2010) y representado gráficamente con el software R (R Core Team, 2014). El dendrograma neighbor-net fue construido a partir de la distancia D_a de Nei (Reynolds y col., 1983) y representado gráficamente con el software SplitsTree4 (Huson y Bryant, 2006).

Análisis Factorial de Correspondencia

El Análisis Factorial de Correspondencia (AFC) fue ejecutado con el paquete gráfico del software Genetix v. 4.05 (Belkhir y col., 2003). El AFC es una técnica multivariante que analiza las relaciones de interdependencia entre variables (razas) en función de otras variables explicativas (alelos). El Análisis Factorial de Correspondencia tiene como objetivo encontrar la estructura más sencilla reduciendo la dimensionalidad de las variables sin perder información importante. Mediante este análisis es posible detectar posibles mezclas entre poblaciones.

Para apreciar de una manera más clara los distintos agrupamientos se realizó un nuevo AFC adicional, utilizando para ello un muestreo tomado al azar de 48 individuos HÁ, los cuales fueron seleccionados usando la función de Excel "aleatorio".

5.3.2.- Métodos de Asignación de individuos a poblaciones

En primer lugar se utilizó un método **no supervisado** (Pritchard y col., 2000) que asume una situación de equilibrio de Hardy-Weinberg para las frecuencias de los alelos, estimando para cada individuo incluido en el análisis la probabilidad de que pertenezca a cada una de las poblaciones consideradas ancestrales. Esta probabilidad es en realidad la distribución posterior de cada porcentaje de genoma que proviene de las poblaciones ancestrales y se calcula aplicando un enfoque bayesiano utilizando técnicas MCMC (Monte Carlo Markow Chain). El cálculo se realiza con el software STRUCTURE versión 2.3.4 (Pritchard y col., 2000).

Un segundo tipo de análisis corresponde al método **supervisado**, en el que las poblaciones de referencia está determinadas *a priori* y representadas por un conjunto de individuos muestreados en cada una de ellas (Baudouin y col., 2004). De esta forma, el método supervisado permite validar el conjunto de poblaciones de referencia, aunque también se utilizará para estimar la composición del genoma en la población objeto de estudio. La asignación de los individuos se realizaran según la metodología propuesta por *Rannala y Mountain* (1997), y por el algoritmo de simulación de *Paetkau y col.*, (2004). El cálculo se realizará utilizando el programa GENECLASS versión 2.0 (Cornuet y col., 1999).

5.3.3.- Análisis de asignación

Una vez estudiado los métodos de asignación de individuos a las poblaciones, se procedió a realizar la asignación a nivel poblacional e individual utilizando para ello los resultados del método no supervisado (Pritchard y col., 2000). El procedimiento se realizó de la siguiente manera:

- a. *Asignación a nivel poblacional*: Se toman todos los individuos de la raza Hispano-Árabe junto con el PRÁ y PRE, considerándolos como una sola población, sin distinciones raciales "*a priori*". En este punto se pedirá al programa que busque todas las estructuras genéticas del conjunto de individuos sin tener en cuenta la raza de origen. Con este paso se pretende comprobar el comportamiento de las poblaciones de referencia (PRÁ y PRE) y hacer un primer ensayo de los datos.
- b. *Asignación Individual*: Se pedirá al programa que, seleccionando los datos de las razas de referencia (PRÁ y PRE), asigne los individuos Hispano-Árabe a uno u otro grupo proporcionando un valor porcentual que indicará la porción de cada uno de los dos genotipos en los individuos a asignar. También se determinará si en la raza Hispano-Árabe existe una subestructura de tercer nivel que sobresalga de los animales asignados a la raza PRÁ o PRE. En este punto, partimos de la hipótesis a demostrar, qué grupos de animales, sobre todo los de linaje más antiguo hayan fijado su componente genético y por lo tanto, tengan una diferenciación estadísticamente significativa y puedan ser definidos genéticamente como Hispano-Árabes ancestrales.

Utilizando un algoritmo Bayesiano implementado en el software estadístico Structure v.2.3.4 (Pritchard y col., 2000) se realizaron 5 repeticiones de cada clúster (K2, K3 y K4) usando un burn in y un número de iteraciones de 90,000 y 200,000, respectivamente. El número óptimo de iteraciones fue determinado empíricamente con la observación de la convergencia del parámetro alpha y el gráfico del mismo programa donde es posible visualizar la convergencia del log (alpha) contra las iteraciones. El número más probable de los clúster es inferido a través del método de estimación más precisa (Pritchard y col., 2000). El software Distruct v.1.1 se utilizó para obtener una visualización gráfica de los coeficientes de filiación individual en cada población ancestral, teniendo en cuenta el run con la más alta probabilidad posterior de los datos en cada valor de K (Rosenberg, 2004).

5.3.4.- Análisis del uso de los porcentajes de sangre vs. los coeficientes de asignación

Se utilizaron los valores porcentuales de asignación individual en un modelo lineal como un efecto adicional y se analizó a través de un análisis GLM. La influencia de estos valores sobre los valores de cría se ha calculado según los fenotipos recolectados en controles funcionales utilizando la metodología BLUP Modelo Animal con observaciones repetidas. Para el cálculo de los valores genéticos se utilizó el programa MTDFREML (Boldman, 1993). Se dispuso de un archivo productivo de 1.759 observaciones correspondientes a 438 individuos, siendo evaluados 2.266 animales presentes en la matriz de parentesco. Los efectos incluidos en el modelo fueron:

Efectos fijos: Grupos de manejo (17 niveles); Sexo (2 niveles: macho, hembra); Combinación año*evento de evaluación (43 niveles); Época de evaluación (4 niveles: primavera, verano, otoño e invierno).

Covariable lineal y cuadrática:

- Edad del animal;
- Nivel de sangre;
 - a) Porcentaje de sangre
 - b) Nivel de asignación

Efectos aleatorios: Valor genético aditivo del animal; Efecto ambiental permanente: Animal (438 niveles) y Efecto aleatorio: Juez (20 niveles).

Se calcularon parámetros genéticos (PG) y valores genéticos (VG) para cada criterio de selección.

Comparación de los PG.- Se evaluó mediante la comparación de la magnitud de los parámetros genéticos estimados por cada uno de los métodos (porcentaje de sangre y coeficientes de asignación).

Comparación de VG. - Por otra parte, se calculó la correlación entre los valores genéticos predichos (VG) de todos los animales presentes en la matriz de parentesco, también para ambos métodos.

Regresión entre los valores genéticos aditivos y los coeficientes de asignación. - Fueron calculadas a partir de los valores genéticos obtenidos para los caracteres analizados (armonía, paso, trote y galope). Se utilizaron los VG de los animales y se llevó a cabo una regresión en función del nivel de asignación, teniendo así animales con proporciones genéticas entre 0,047 y 0,913. Las tendencias genéticas se calcularon mediante una regresión lineal, promediando los valores genéticos de los animales con un nivel de asignación específico (Jhonson y Garrick, 1990; Silva y col., 1998; Valencia y col., 2005). Se utilizó el procedimiento PROC REG del paquete estadístico SAS en su versión 9.2 (SAS, 2009).

5.4.- RESULTADOS

5.4.1. Caracterización genética

a) Variación genética

Se detectaron un total de 152 alelos en 558 individuos de las 4 poblaciones analizadas. El número medio de alelos por locus para cada raza varió entre 5,24 (PRÁ) y 8,59 (HÁ) (Tabla 5.1). En el caballo Hispano-Árabe encontramos una gran variabilidad genética teniendo en cuenta el número medio de alelos observado (8,59), mientras que en las otras poblaciones este valor fue significativamente inferior.

La heterocigosidad media esperada y observada fueron similares dentro de las razas y oscilaron entre 0,59 (PRÁ) a 0,72 (HÁ). A la vista de los resultados de la H_e y H_o obtenidos para estos microsatélites se puede decir que estos marcadores detectan una elevada diversidad genética (0,71) en la raza equina Hispano-Árabe (**Tabla 5.1**). Como era de esperar, la intensidad de selección efectuada hace que la variabilidad genética disminuya. El PRÁ mostró los valores más bajos de diversidad génica (0,59), seguido por el PSI (0,69).

La Riqueza Alélica (RA) varió en un patrón similar que las otras medidas de diversidad con un rango de 5,15 en el PRÁ a 6,66 en el HÁ. Existieron pequeñas diferencias respecto a la RA entre razas, y el HÁ tuvo un valor ligeramente mayor que las otras tres razas. Para todas las razas, la diversidad genética fue coherente con el rango de la riqueza alélica, es decir, que era independiente del tamaño de la muestra.

Tabla 5.1. Nombre de las razas equinas analizadas con su respectivo acrónimo, número de animales analizados (N), Heterocigosidad media esperada (H_e), Heterocigosidad media observada (H_o) y número medio de alelos (NMA) con sus correspondientes desviaciones estándar; Riqueza alélica (RA); Fis con un intervalo de confianza del 95% calculado con 1000 permutaciones.

Población	N	$H_e \pm SD$	$H_o \pm SD$	NMA $\pm SD$	RA	Fis
HÁ	438	0,71 \pm 0,03	0,72 \pm 0,005	8,59 \pm 2,45	6,66	-0,012 (-0,02528 - -0,00084)
PRÁ	38	0,64 \pm 0,03	0,59 \pm 0,02	5,24 \pm 1,30	5,15	0,069 (0,00407 - 0,11605)
PRE	36	0,70 \pm 0,03	0,70 \pm 0,02	6,35 \pm 1,46	6,26	-0,005 (-0,06426 - 0,02864)
PSI	46	0,69 \pm 0,02	0,71 \pm 0,02	5,53 \pm 1,55	5,32	-0,028 (-0,07969 - 0,00021)
	558	0,69 \pm 0,03	0,69 \pm 0,02	6,43 \pm 1,69	5,85	-0,007 (-0,02001 - 0,00597)

Los valores positivos de FIS indican un déficit de heterocigotos. Estos valores se muestran en el Pura Sangre Árabe. Este resultado puede deberse a la selección intensiva efectuada en esta población, o simplemente al funcionamiento del programa de mejora y el establecimiento de progenies, por lo tanto, no puede descartarse como posibles causas.

Las desviaciones respecto al equilibrio Hardy-Weinberg (HW) de las cuatro poblaciones se presentan en la **Tabla 5.2**. Respecto a los resultados observados en la raza

HÁ se encontraron 2 marcadores que se desvían significativamente del equilibrio Hardy-Weinberg. Por definición una población fruto de un cruzamiento no sigue el equilibrio de HW ocasionado principalmente por la migración, al flujo genético de individuos y al apareamiento dirigido.

Tabla 5.2. Desviaciones respecto al equilibrio Hardy-Weinberg de las cuatro poblaciones por cada microsatélite.

Locus	HÁ	PRÁ	PRE	PSI
AHT4/1	*			
AHT5/1		*		
ASB17/1				
ASB2/1				
ASB23/1		*		
CA425/1				*
HMS1/1				
HMS2/1				
HMS3/1				
HMS6/1				*
HMS7/1				
HTG10/1				
HTG4/1				
HTG6/1		*		
HTG7/1				
LEX33/1				
VHL20/1	*		*	

*= $P < 0,05$

En la **Tabla 5.3** se recogen los resultados de los estadísticos de Wrigth obtenidos en cada uno de los 17 microsatélites. El parámetro **FIS** indica el déficit o exceso de heterocigotos promedio en una población, siendo el microsatélite LEX33 el que más contribuye (4%) en el caballo HÁ. El grado de diferenciación genética entre poblaciones esta medido por el parámetro **FST**, es decir, que parte de la variabilidad genética se debe a diferencias genéticas entre las poblaciones (HÁ, PRÁ, PRE y PSI). Cinco de los diecisiete marcadores presentaron valores superiores entre el 9% al 13% y un valor promedio del 6%. Por último, la deficiencia o exceso de heterocigotos medios en un conjunto de poblaciones está dado por el parámetro **FIT**, y en el presente estudio los microsatélites LEX33 (13%), ASB17 (11%) y el AHT5 (9%) son los que más contribuyen a dicha pérdida.

Tabla 5.3. Valores de Fis, Fst y Fit y valor promedio obtenidos con cada uno de los 17 microsatélites.

Locus	FIS	FST	FIT
AHT4/1	-0,038	0,016	-0,021
AHT5/1	-0,032	0,118	0,090
ASB17/1	0,035	0,072	0,105
ASB2/1	0,006	0,043	0,048
ASB23/1	0,000	0,029	0,028
CA425/1	-0,009	0,025	0,017
HMS1/1	0,011	0,024	0,035
HMS2/1	-0,042	0,106	0,069
HMS3/1	-0,019	0,059	0,041
HMS6/1	-0,029	0,062	0,034
HMS7/1	-0,032	0,094	0,065
HTG10/1	0,007	0,053	0,059
HTG4/1	-0,023	0,054	0,033
HTG6/1	0,019	0,062	0,080
HTG7/1	-0,066	0,129	0,072
LEX33/1	0,047	0,087	0,130
VHL20/1	0,003	0,047	0,050
Media	-0,010	0,064	0,055

b) Diferenciación genética

Análisis molecular de la varianza

El análisis de la varianza molecular se realizó para 2 combinaciones diferentes de las 4 poblaciones que se dividieron de acuerdo al previo conocimiento sobre el origen de la población (grupo 1: HÁ, PRE, PRÁ; grupo: 2 PSI) (**Tabla 5.4**). Los resultados nos muestran que existen diferencias significativas entre los dos agrupamientos. Estos resultados nos indican en primer lugar que la gran mayoría de la variación genética fue dentro de las razas (90,91%), además destacando que entre grupos la distancia genética fue del 6%. Por último la variación entre poblaciones dentro de grupos fue mínima (3%).

Tabla 5.4. Análisis molecular de la varianza entre grupos.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Componentes de la varianza	% de variación
Entre grupos	97,04	0,36	5,77
Entre poblaciones dentro de grupos	66,04	0,21	3,32
Dentro de poblaciones	6316,42	5,68	90,91

Los promedios de los F-estadísticos de Weir y Cockerham y sus intervalos de confianza al 95% entre los loci fueron: $f = 0,0074$ (-0,02001 a 0,00597), $F = 0,0560$ (0,03899 a 0,07322), y $\Theta = 0,0623$ (0,04899 a 0,07721). El valor de f nos indica que no existe desequilibrio de heterocigotos en las poblaciones, y además, se observa un F que a pesar de ser muy bajo difiere significativamente de cero. La estimación global de **Theta** en todos los loci difirió significativamente de cero, indicando que alrededor del 6% de la variación total fue explicada por las diferencias entre razas, el restante 94% correspondería a diferencias entre individuos.

El grado de diferenciación genética se estimó mediante la distancia FST entre pares de razas y el promedio de cada raza con respecto al resto (**Tabla 5.5**). Los valores FST entre pares de poblaciones oscilaron entre 0,03 (HÁ/PRÁ) a 0,13 (PRÁ/PSI). Las razas Hispano-Árabe, Pura Raza Español y Pura Raza Árabe mostraron los valores de distancia genética más bajos (0,03). Por otro lado, como era lo esperado el Pura Sangre Inglés mostró los valores más elevados de la distancia genética FST promedio (0,11). Todos los valores son diferentes de cero ($P < 0,01$).

Tabla 5.5. FST entre los pares de poblaciones analizadas.

Población	HÁ	PRÁ	PRE	PSI
HÁ	-			
PRÁ	0,03	-		
PRE	0,03	0,11	-	
PSI	0,09	0,13	0,11	-
Media	0,05	0,12	0,11	

Las distancias genéticas se expresan entre cada dos poblaciones, pero no es fácil ver las relaciones entre las poblaciones estudiadas de forma global y gráfica. La representación del conjunto de distancias se resuelve empleando diferentes estrategias, así se diseñaron los sistemas de representación más comúnmente empleados, entre los que se encuentra el algoritmo de Neighbor-Joining.

En la **Figura 5.1** se puede observar el árbol de distancias Da de Nei. En él puede observarse como la raza Hispano-Árabe se encuentra muy próxima a las razas PRE y PRÁ; dado el origen conocido del caballo HÁ y la escasa diferenciación genética observado

entre ellas hacen que exista esta proximidad entre las tres razas de la Península Ibérica. Por último, puede observarse la gran distancia que existe entre las razas Ibéricas y la raza PSI, la cual aparece en una rama claramente diferenciada en el dendrograma de la matriz de distancias genéticas D_a de Nei.

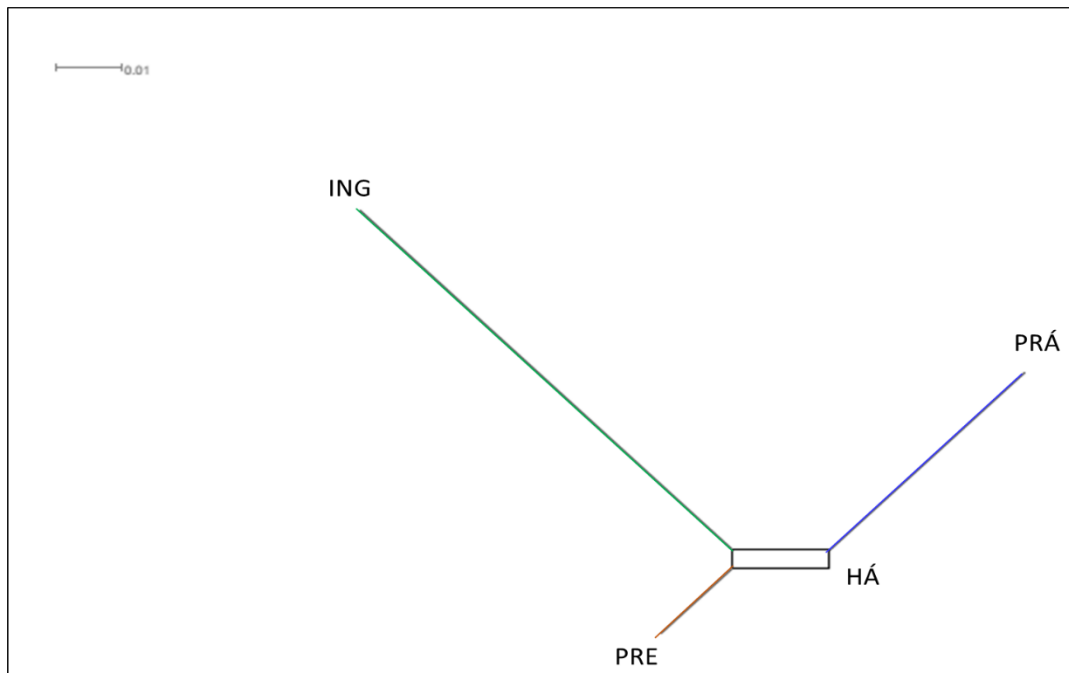


Figura 5.1. *Árbol de distancias genéticas entre las 4 poblaciones según el modelo de distancia D_a de Nei (1983) y el algoritmo Neighbor-Joining.*

A pesar de esta escasa diferenciación genética entre las tres poblaciones (HÁ, PRE, PRÁ), cuando se hace un análisis factorial de correspondencia (AFC), es posible distinguir claramente las tres poblaciones (**Figura 5.2**). El primer eje representó el 51,40% de la proporción total de la inercia, mientras que el segundo eje representó el 33,66%, y la tercera 14,94%. Mediante este análisis es posible detectar posibles mezclas entre poblaciones. Los individuos de la raza HÁ, PRE y PRÁ forman un agrupamiento, aunque no es muy clara la separación entre ellas, mientras que el PSI se diferencia claramente del resto de razas.

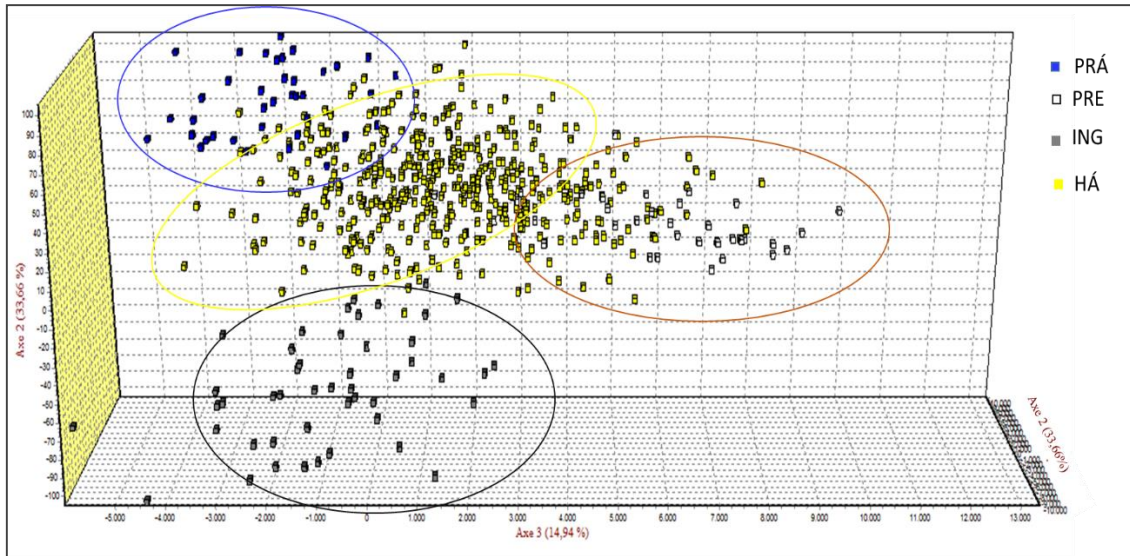


Figura 5.2. Representación gráfica de los resultados del Análisis Factorial de Correspondencia de 4 poblaciones equinas.

Para apreciar de una manera más clara el posicionamiento de la raza HÁ se volvió a realizar un AFC, utilizando para ello una pequeña muestra tomada al azar, y a través de la **Figura 5.3** se aprecia nuevamente su origen y composición genética, ubicándose visiblemente entre sus razas fundadoras (PRE y PRÁ).

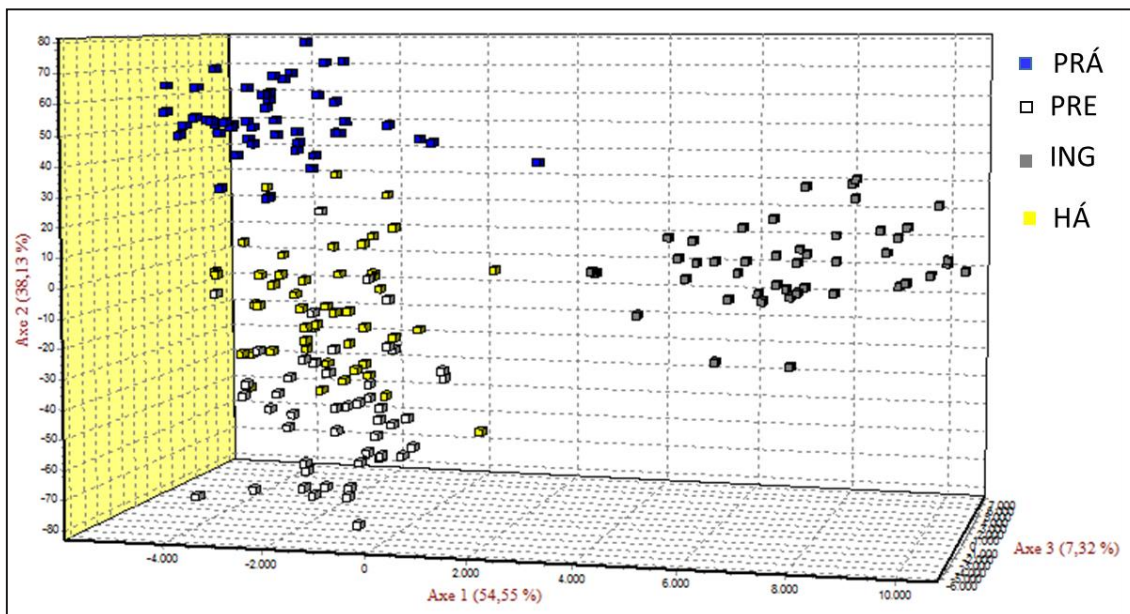
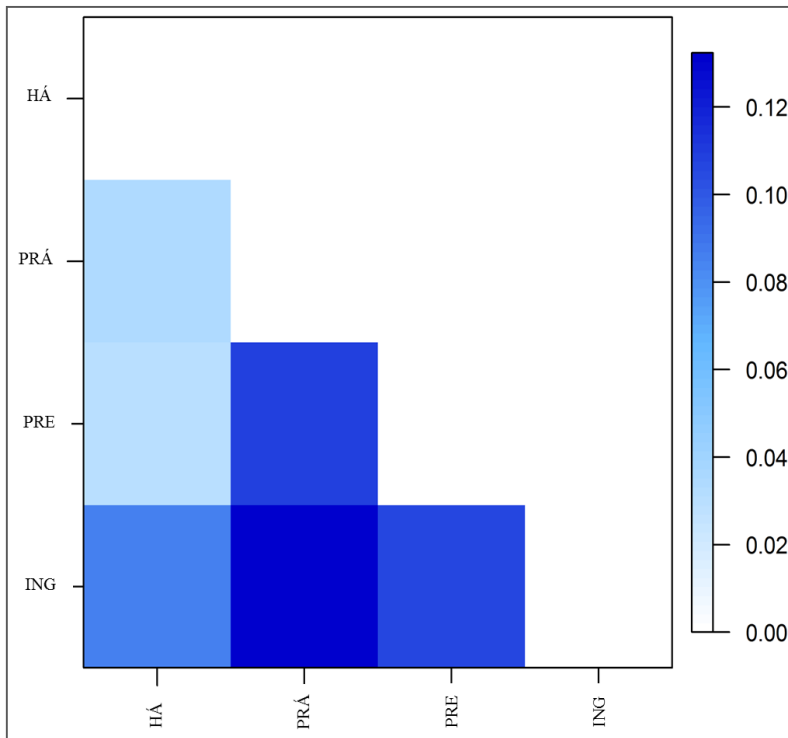


Figura 5.3. Representación gráfica de los resultados del Análisis Factorial de Correspondencia en un muestreo de 48 individuos HÁ.

Las distancias FST nuevamente confirman que el caballo HÁ se encuentra más cercano al PRE y PRÁ, y la más alta diferenciación la mostró con el PSI (**Figura 5.4; a**). Por otro lado, la variabilidad genética dentro de la población muestra que la raza HÁ es la que presenta la más alta variabilidad y la que menos el PRÁ (**Figura 5.4; b**). Y por último, la diferenciación entre poblaciones pone de manifiesto que las razas HÁ, PRE y PRE se diferencian perfectamente del PSI.

a)



b)

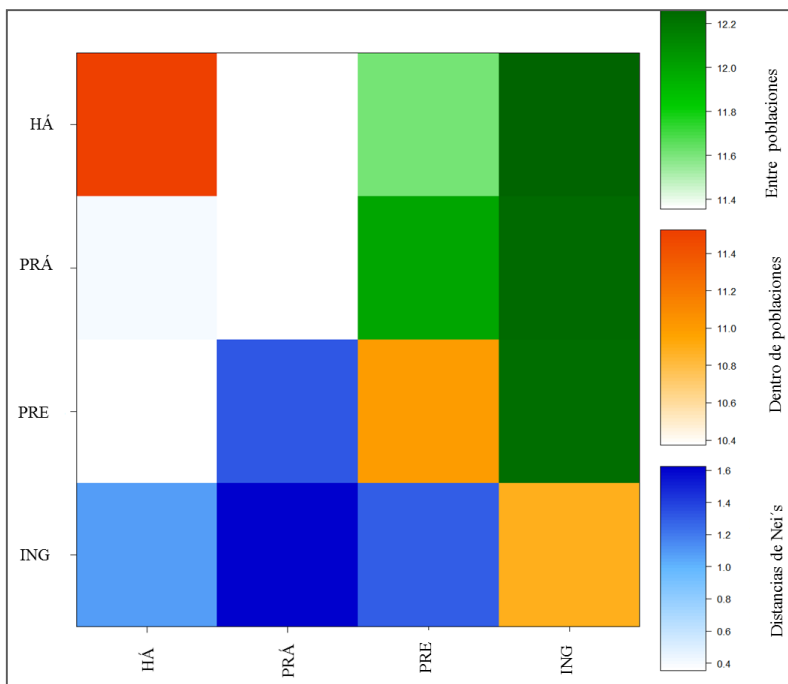


Figura 5.4. Representación gráfica de la diferenciación genética entre pares de poblaciones. Matriz de gradientes representada por las distancias D_a Nei (debajo de la diagonal), el índice de diferenciación genética entre individuos τ dentro de población (diagonal) y diferenciación entre pares de poblaciones (encima de la diagonal).

5.4.2. Métodos de Asignación de individuos a poblaciones

Como paso previo a la asignación de un individuo a una población, es necesario realizar varios análisis utilizando diferentes herramientas informáticas para afianzar y dar robustez a los resultados obtenidos. Para ello, se han utilizado dos softwares genéticos que habitualmente se aplican para estos análisis: STRUCTURE v.2.3.4 y GENECLASS v. 2.0.

a) Método no supervisado

Las muestras de las razas PRE, PRÁ y PSI presentaban un porcentaje de asignación (Q) superior al 82 por 100 a su población de origen, indicando que provenían de una única población ancestral, mientras que en las muestras de la raza HÁ se identificaban dos poblaciones ancestrales claras (Tabla 5.6).

Tabla 5.6. Proporción de genoma para cada población. En la última fila aparece el valor el parámetro F_{ST} que es un indicador del grado de separación genética entre las poblaciones muestreadas.

	PRÁ	HÁ	PSI	PRE	Nº
HÁ	0,333	0,282	0,056	0,329	438
PRÁ	0,874	0,083	0,020	0,023	38
PRE	0,047	0,095	0,036	0,822	36
PSI	0,019	0,026	0,934	0,021	46
FST	0,05	0,06	0,04	0,14	558

Es necesario resaltar, además, que hay que extremar la cautela cuando se utilizan estos procedimientos de análisis ya que con frecuencia la estimación de la proporción del genoma que proviene de cada una de las poblaciones de origen puede cambiar drásticamente de un análisis a otro. Para confirmar la asignación a las razas de origen se realizaron 5 repeticiones para cada uno de los valores de K y el resultado se presenta en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7. Asignación de las muestras del caballo Hispano-Árabe a las poblaciones de origen, cuando éstas se consideran 3.

Población	Nº de clúster	-Ln prob datos	Poblaciones ancestrales		
			PRE	PRÁ	PSI
HÁ	K3	-28336.3	■		
HÁ	K3	-28339.5	■		
HÁ	K3	-28344.3	■		
HÁ	K3	-28332.3	■		
HÁ	K3	-28332.9	■		
HÁ	K4	-28089.8	■		
HÁ	K4	-28084.4		■	
HÁ	K4	-28070.7		■	
HÁ	K4	-28104.4		■	
HÁ	K4	-28064.0		■	

En la **Tabla 5.7** puede verse que la asignación de la población HÁ a las 3 poblaciones ancestrales consideradas a priori no varía de una repetición a otra, aunque en la repetición uno del K4 el caballo HÁ parece tener 2 orígenes.

Con el fin de comentar los resultados más importantes se presentan en la **Tabla 5.8** un conjunto de individuos HÁ elegidos al azar. Por término medio, la composición genética de los 30 individuos HÁ correspondería en un 22 y 36 por 100 a las razas PRÁ y

PRE, respectivamente, y un 40% correspondiente a la población HÁ (40%) (Tabla 5.8). De manera general, se observa que 11 de los 30 caballos Hispano-Árabes se asignan a su propio grupo, mientras que el resto de individuos poseen en su genoma diferentes proporciones de genes árabes y españoles.

Tabla 5.8. Proporción de genoma de cada una de las poblaciones de referencia y en cada una de las 30 muestras de la población HÁ. En negrita los valores que superan el 50 por 100.

Población	PRÁ	HÁ	PSI	PRE
HÁ	0,333	0,282	0,056	0,329
PRÁ	0,874	0,083	0,02	0,023
PRE	0,047	0,095	0,036	0,822
PSI	0,019	0,026	0,934	0,021
HA1539	0,016	0,075	0,011	0,898
HA32	0,014	0,898	0,067	0,020
HA1064	0,039	0,085	0,059	0,817
HA776	0,914	0,040	0,023	0,022
HA134	0,026	0,186	0,027	0,761
HA2627	0,027	0,945	0,006	0,022
HA1555	0,042	0,029	0,010	0,920
HA733	0,026	0,894	0,012	0,069
HA1418	0,095	0,076	0,008	0,821
HA2299	0,685	0,177	0,013	0,125
HA58	0,130	0,226	0,030	0,614
HA2755	0,839	0,032	0,008	0,121
HA1044	0,018	0,833	0,011	0,137
HA1105	0,501	0,168	0,079	0,252
HA868	0,715	0,110	0,039	0,136
HA570	0,104	0,757	0,019	0,120
HA2139	0,073	0,890	0,006	0,030
HA1141	0,018	0,030	0,011	0,941
HA1414	0,062	0,078	0,024	0,837
HA2627	0,027	0,945	0,006	0,022
HA961	0,513	0,183	0,020	0,284
HA612	0,028	0,929	0,010	0,033
HA1502	0,523	0,313	0,074	0,090
HA261	0,583	0,268	0,063	0,086
HA2177	0,020	0,104	0,012	0,864
HA2098	0,326	0,104	0,012	0,558
HA412	0,034	0,927	0,021	0,018
HA1297	0,060	0,020	0,011	0,909
HA2460	0,031	0,948	0,008	0,013
HA318	0,111	0,752	0,025	0,111
Media	0,220	0,401	0,024	0,355

En la **Tabla 5.9** se presentan los resultados que se obtienen en cada clúster considerado. Debemos señalar, en primer lugar, que el método no supervisado ha detectado con elevada precisión la composición genética de las poblaciones de referencia, mejor cuando el número de poblaciones ancestrales fue de 4 que cuando eran sólo 2. Estos resultados, a la vez siguen evidenciando el origen del caballo Hispano-Árabe, mostrando en los tres clúster que su genoma está compuesto de genes del Pura Raza Árabe y Pura Raza Español. Por otro lado, y quizá lo más importante de estos resultados es que existen individuos HÁ que se diferencian claramente en un grupo genético diferente, sugiriéndonos que puede haber una población ya fijada con genes puramente Hispano-Árabes y que posiblemente representan a los caballos más ancestrales que forman parte del Registro Fundacional y sus descendientes directos.

Tabla 5.9. Proporción de genoma para cada población en cada clúster considerado.

	Clúster		Clúster			Clúster			
	1	2	1	2	3	1	2	3	4
HÁ	0,438	0,562	0,197	0,408	0,395	0,333	0,282	0,056	0,329
PRÁ	0,149	0,851	0,083	0,077	0,841	0,874	0,083	0,020	0,023
PRE	0,666	0,334	0,137	0,762	0,101	0,047	0,095	0,036	0,822
PSI	0,894	0,106	0,894	0,055	0,051	0,019	0,026	0,934	0,021

En la **Figura 5.6** se hace una representación gráfica de los resultados obtenidos con el método no supervisado, cada línea vertical representa a un individuo y la composición de colores equivale a la representación de los genomas correspondientes.

b) Método supervisado

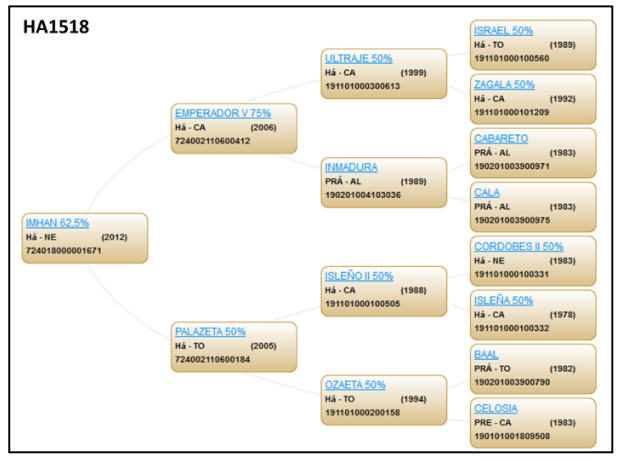
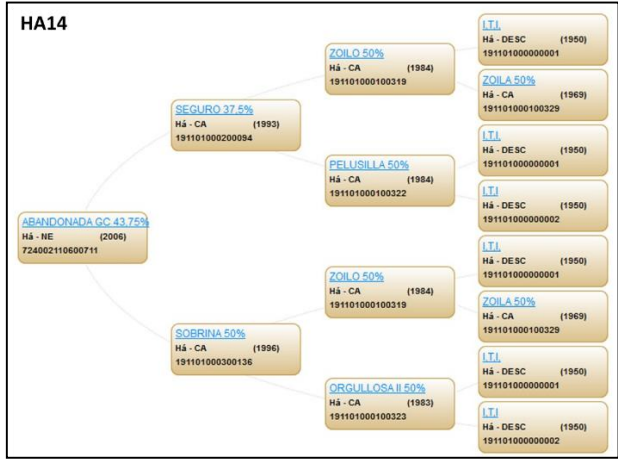
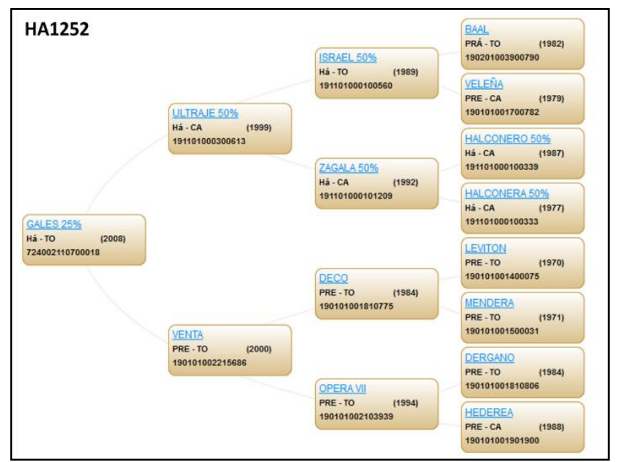
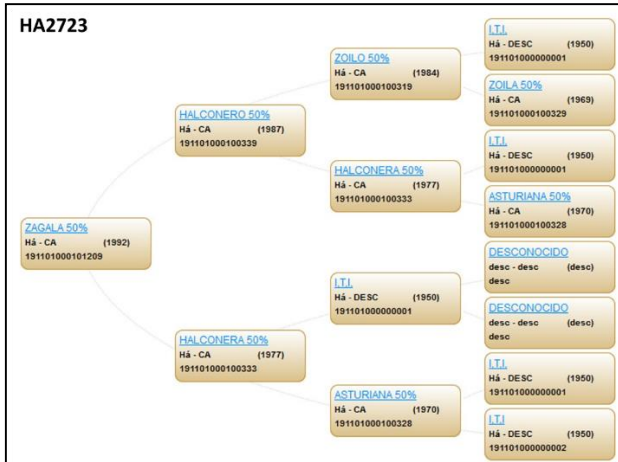
A través de la utilización del software GENECLASS, el método supervisado asigna todos los individuos a la población que mayor probabilidad tiene de resultar genéticamente más próxima. Para cada individuo, la población más verosímil y una puntuación relativa calculada como el cociente entre la verosimilitud de que el individuo i pertenezca a la población l y la suma de las verosimilitudes de que pertenezca a cada una de las k poblaciones incluidas en el análisis. Aunque estos resultados no son directamente comparables con los que se presentan en los métodos no supervisados, sí es posible tratar de analizar si existen o no contradicciones importantes.

En la **Tabla 5.10** se presenta una comparación de los resultados obtenidos por diferentes métodos. La comparación se realizó en una muestra de caballos Hispano-Árabes tomada al azar. De forma general, se observa que los resultados de asignación obtenidos por los dos métodos se corresponden (Structure y GeneClass), indicándonos a que grupo genético con la mayor probabilidad se agrupan. Analizando de manera individual observamos como el individuo **HA2723** se agrupa con un 96% a la población HÁ (Pritchard y col., 2000), siguiendo la misma tónica la población genéticamente más próxima fue la HÁ según *Rannala y Mountain (1997)*, y por último, según el algoritmo de simulación de *Paetkau y col., (2004)* se confirma que este individuo se asigna a la población Hispano-Árabe. Otro comportamiento distinto pero resultado similar en los tres métodos se dio en el individuo **HA1252**; los resultados obtenidos por medio del software STRUCTURE nos indica que este animal se agrupa mayoritariamente a la población HÁ y PRE, similar comportamiento puede ser interpretado en lo estimado en el GENECLASS, dónde nos dice que la primera y segunda población más cercana es el HÁ y el PRE, y según el método de simulación este individuo tendría en su genoma genes de la población HÁ y PRE. Para afianzar los resultados obtenidos en esta comparativa se muestran distintos árboles genealógicos (**Anexo 1**).

Tabla 5.10. Proporción de genoma para cada una de las poblaciones ancestrales en una muestra de caballos Hispano-Árabe. Calculados en diferentes métodos.

Población-muestra nº	MÉTODO STRUCTURE				MÉTODO GENECLASS								
	HÁ	PRÁ	PRE	PSI	Rannala y Mountain				Simulación del algoritmo (Paetkau et al, 2004)				
HÁ	0,282	0,333	0,329	0,056	Población	Rank1/ Asignación	Población	Rank2/ Asignación	Población	Prob_HÁ	Prob_ARA	Prob_PRE	Prob_PSI
PRÁ	0,083	0,874	0,023	0,020									
PRE	0,095	0,047	0,822	0,036	HA	PRE	PRE	HA	HA	HA	HA	HA	HA
PSI	0,026	0,019	0,021	0,934	HA	PRE	PRE	HA	HA	HA	HA	HA	HA
HA2452	0,965	0,010	0,010	0,016	HA	100,00	PRE	0,00	HA	0,030	0,000	0,000	0,000
HA2723	0,963	0,011	0,010	0,017	HA	100,00	PRE	0,00	HA	0,148	0,000	0,001	0,000
HA14	0,960	0,014	0,010	0,016	HA	100,00	PRE	0,00	HA	0,129	0,000	0,000	0,000
HA768	0,959	0,013	0,009	0,018	HA	100,00	PRÁ	0,00	HA	0,155	0,000	0,000	0,000
HA1427	0,959	0,012	0,020	0,009	HA	99,86	PRE	0,14	HA	0,527	0,000	0,088	0,000
HA152	0,954	0,015	0,024	0,007	HA	99,59	PRE	0,41	HA	0,378	0,000	0,073	0,001
HA36	0,900	0,063	0,013	0,023	HA	100,00	PRÁ	0,00	HA	0,105	0,000	0,000	0,000
HA1580	0,856	0,024	0,108	0,012	HA	99,79	PRE	0,22	HA	0,936	0,000	0,321	0,000
HA2442	0,959	0,012	0,012	0,017	HA	100,00	PRE	0,00	HA	0,066	0,000	0,000	0,000
HA485	0,956	0,017	0,016	0,011	HA	100,00	PRE	0,00	HA	0,161	0,000	0,001	0,000
HA1252	0,518	0,023	0,430	0,029	HA	78,53	PRE	21,47	HA	0,816	0,000	0,480	0,000
HA486	0,324	0,020	0,612	0,044	PRE	99,39	HA	0,61	HA	0,641	0,000	0,733	0,000
HA1168	0,243	0,717	0,022	0,019	PRÁ	66,98	HA	33,02	HA	0,909	0,282	0,044	0,000
HA153	0,217	0,179	0,539	0,065	PRE	53,53	HA	46,43	HA	0,478	0,000	0,088	0,000
HA2492	0,180	0,047	0,757	0,017	PRE	97,77	HA	2,23	HA	0,527	0,000	0,535	0,000
HA1582	0,170	0,046	0,633	0,151	HA	51,43	PRE	48,56	HA	0,416	0,000	0,223	0,000
HA1518	0,953	0,013	0,021	0,013	HA	99,99	PRE	0,006	HA	0,753	0,000	0,078	0,000
HA2671	0,952	0,020	0,016	0,012	HA	100,00	PRÁ	0,00	HA	0,458	0,000	0,002	0,000
HA2390	0,944	0,034	0,014	0,009	HA	100,00	PRÁ	0,00	HA	0,466	0,000	0,004	0,000
HA703	0,941	0,021	0,028	0,010	HA	99,97	PRE	0,03	HA	0,532	0,000	0,059	0,000
HA2193	0,024	0,025	0,943	0,009	PRE	99,59	HA	0,41	HA	0,771	0,000	0,874	0,000
HA2377	0,024	0,011	0,957	0,009	PRE	99,81	HA	0,19	HA	0,709	0,000	0,894	0,000

Anexo 1. Árbol genealógico de individuos pertenecientes a la raza Hispano-Árabe.



5.4.3. Asignación de los individuos a las poblaciones predefinidas

Una vez validada la robustez de los resultados de asignación individual se procede a estudiar de forma más detallada la asignación del caballo HÁ a las razas fundadoras que integran su nombre. Para ello, nos valdremos de los resultados obtenidos mediante en software STRUCTURE (Pritchard y col., 2000). Varios estudios corroboran que las pruebas de asignación con el uso de marcadores microsatélites permiten la determinación de cruces entre razas y la homogeneidad intraracial (Vega-Pla y col., 2003; Thirstrup y col., 2008; Martínez y col., 2010). La posibilidad de identificar los diferentes grupos genéticos es necesaria para proteger y conservar la raza y a la vez desarrollar buenos programas de conservación y mejora.

La intención original de este desarrollo es conocer con este análisis si el caballo HÁ es una raza con una composición genética determinada que se diferencia de las razas paternas o si los individuos de la raza HÁ conservan porcentajes del genoma del PRÁ y PRE variables. El número más probable de los clúster es inferido a través del método de estimación más precisa (Pritchard y col., 2000). Uno de los primeros resultados fue que el clúster más probable se obtiene cuando K es igual a 4 (Figura 5.5).

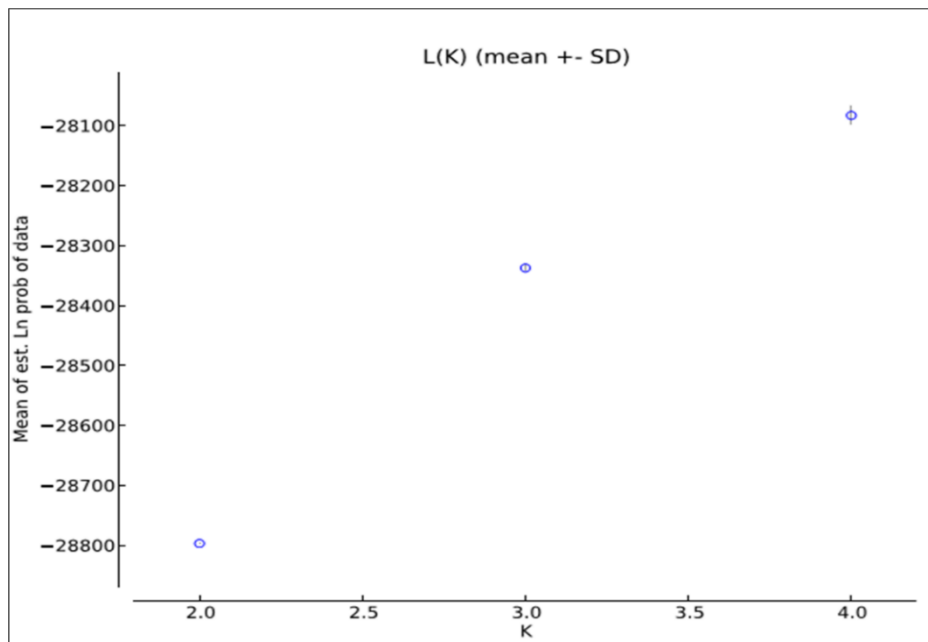


Figura 5.5. Gráfico de la distribución del LN al variar el número de clúster.

El programa Structure utiliza un algoritmo bayesiano que calcula la distribución a posteriori de cada coeficiente de mezcla de cada individuo (q). La **Figura 5.6** muestra una estimación global de la estructura de la población. Cada individuo está representado por una línea vertical que se divide en K segmentos de color, que representan la fracción de cada individuo perteneciente a cada uno de los clúster (raza o población). Las líneas negras separan las razas incluidas en el estudio. Se muestran los resultados asumiendo la existencia de 2, 3 y 4 poblaciones o clusters ($K=2 - K=4$) para ver la posible subdivisión dentro de cada una de las razas estudiadas. Cada individuo es asignado probabilísticamente a un clúster o conjuntamente a dos o más clústeres si su genotipo indica que es una mezcla.

En la estimación del $K=2$ (**Figura 5.6; a**), la raza PSI se separa en un grupo homogéneo y que permanece a medida que aumenta el número de K hasta 4. El PRE y PRÁ claramente se separan en dos grupos de $K=3$ a $K=4$. Ya en el $K=4$ observamos como un grupo de individuos de la raza HÁ empieza a diferenciarse del resto de poblaciones (**Figura 5.6; b**). Todas las razas fueron asignadas con niveles altos del coeficiente Q (valor medio, 0,88), que varió de 0,82 para el PRE a 0,93 para la raza PSI.

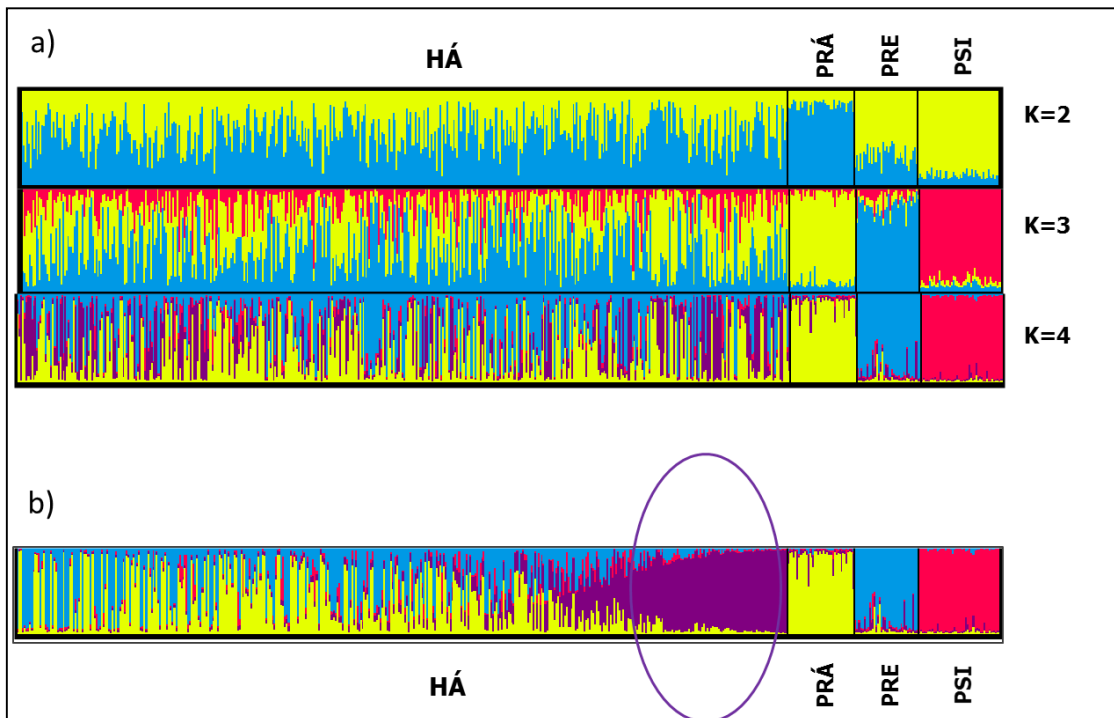


Figura 5.6. a) Representación gráfica de la estructura genética de las cuatro razas analizadas. b) K_4 , coeficientes de asignación HÁ ordenados. Los gráficos son obtenidos usando el software Distruct. Los resultados del structure son dados para el K_2 a K_4 . Abreviaciones de las razas: HÁ, Hispano-Árabe; PRÁ, Pura Raza Árabe; PRE, Pura Raza Español; PSI, Pura Sangre Inglés.

Como era previsible, los individuos HÁ se asignan tanto al grupo del PRE y PRÁ, pero lo más destacado es la formación de un pequeño grupo genético de Hispano-Árabes que se empiezan a diferenciar claramente de las razas parentales. De acuerdo con los resultados globales de todos los animales estudiados (438 HÁ), la composición genética media de todos los individuos analizados tiene un contenido de un 33 por 100 de la raza Árabe, un 32 por 100 de la raza Española y un 29 por 100 de la raza HÁ.

Cuando se analizan los resultados de forma individual vemos que 67 individuos presentan un porcentaje del genoma de la raza HÁ superior al 80 por 100, y por lo tanto resultado muy importante a ser considerados para futuras decisiones en el plan de mejora de la raza.

5.4.4. Análisis del uso de los porcentajes de sangre vs los coeficientes de asignación

Las correlaciones entre los valores genéticos predichos obtenidos cuando usamos el porcentaje de sangre y los coeficientes de asignación oscilaron entre 0,95 y 0,99 en

todos los caracteres (**Figura 5.7**), lo que indica que los parámetros genéticos estimados utilizando los porcentajes de sangre como los coeficientes de asignación eran de magnitud comparable, como lo corroboran las heredabilidades estimadas que difieren, como máximo, en 1,5 puntos porcentuales entre los dos procedimientos.

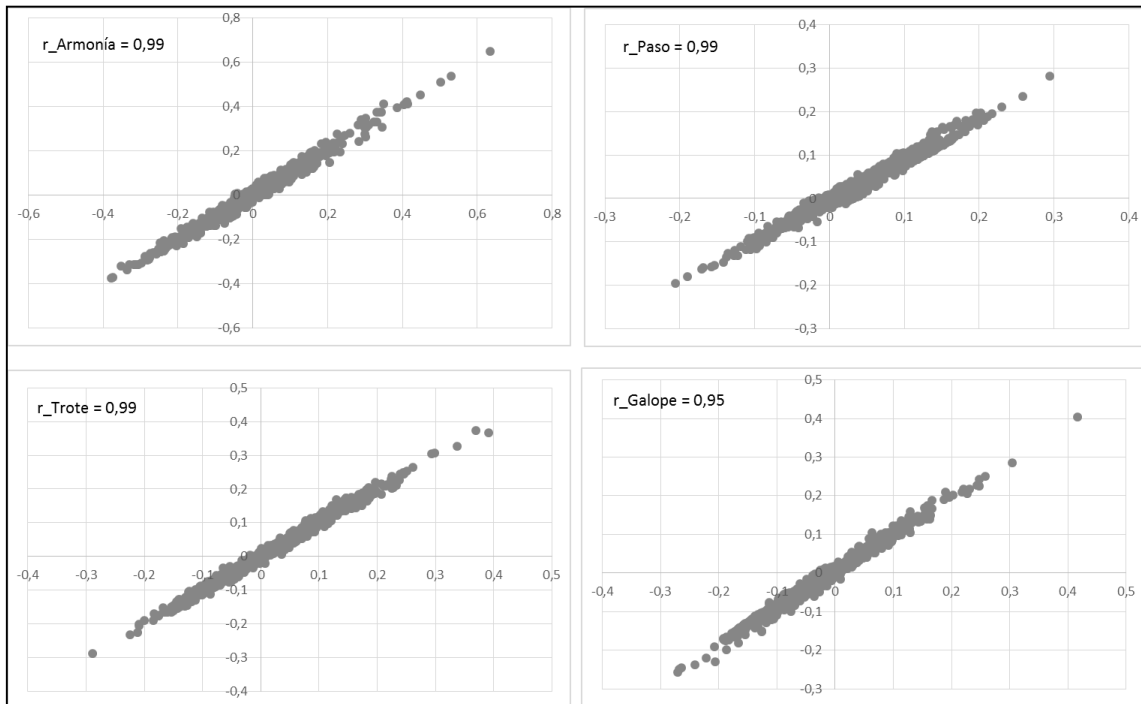


Figura 5.7. Correlación de Pearson entre los valores genéticos obtenidos cuando se usa el porcentaje de sangre y los coeficientes de asignación.

Por otro lado, utilizando el coeficiente de asignación estimado se realizaron diferentes regresiones para estimar la relación de este coeficiente con cada criterio de selección. En la **Figura 5.8** se aprecia como la armonía mostró una regresión negativa cuando utilizamos el nivel de asignación a la raza árabe, indicándonos que los individuos Hispano-Árabe con mayores porcentajes de sangre árabe serían menos armónicos, mientras sí un caballo HÁ posee en sus genes más proporciones genéticas del Pura Raza Español esta tendencia es a la inversa.

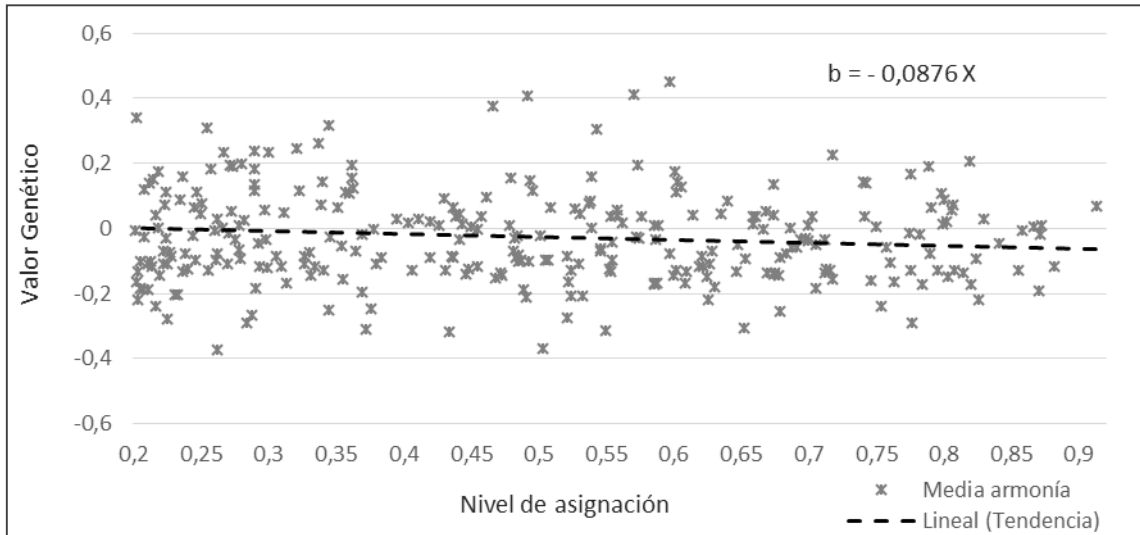


Figura 5.8. Regresión entre los valores genéticos para el carácter armonía en función del nivel de asignación de sangre árabe.

Así mismo se calculó la regresión para el carácter paso (Figura 5.9), mostrando que para este carácter el comportamiento fue positivo a medida que incrementamos los niveles de sangre árabe, sugiriéndonos que un caballo Hispano-Árabe con buenas habilidades para el paso posee genes mayoritarios provenientes del caballo Árabe.

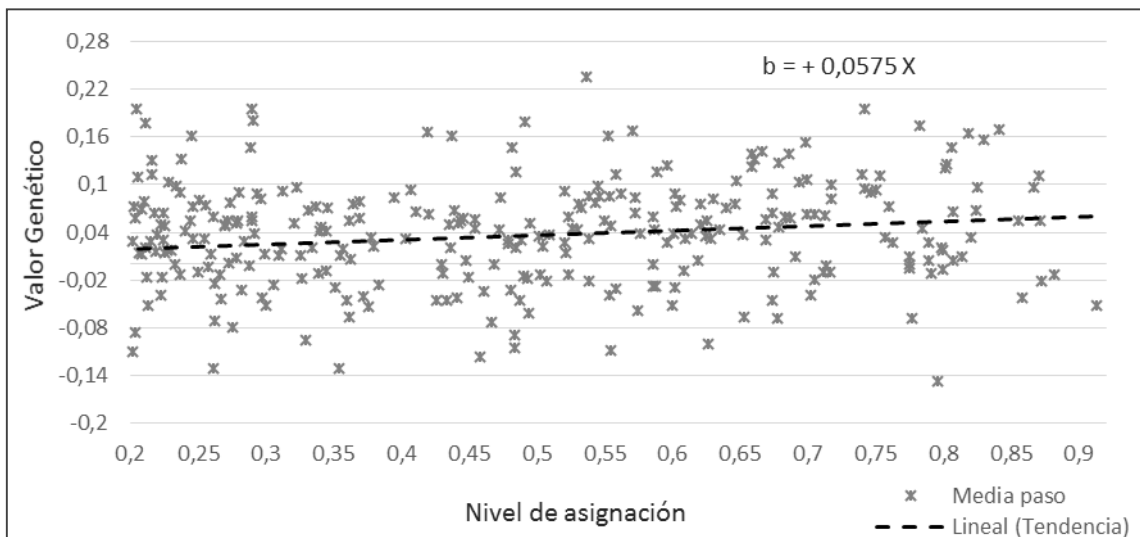


Figura 5.9. Regresión entre los valores genéticos para el carácter paso respecto al nivel de asignación de sangre árabe.

Siguiendo con la tónica anterior, el trote mostró una regresión positiva (+ 0,02 puntos), sin embargo esta tendencia resulto no significativa (Figura 5.10).

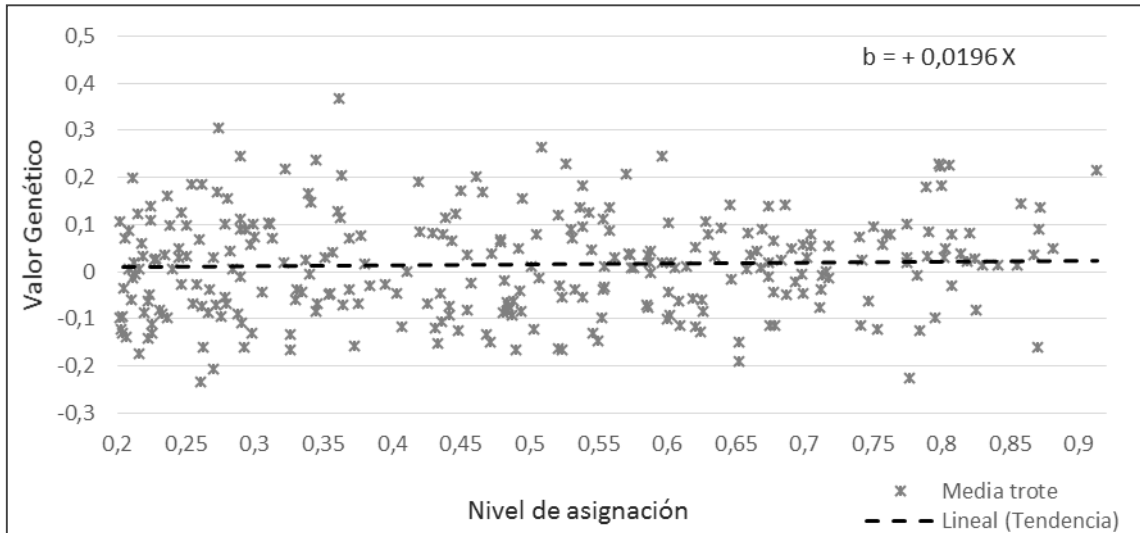


Figura 5.10. Regresión entre los valores genéticos para el carácter trote respecto al nivel de asignación de sangre árabe.

Una regresión negativa se encontró para el carácter galope (- 0,03 puntos), y al igual que el trote esta tendencia resulto no significativa (Figura 5.11).

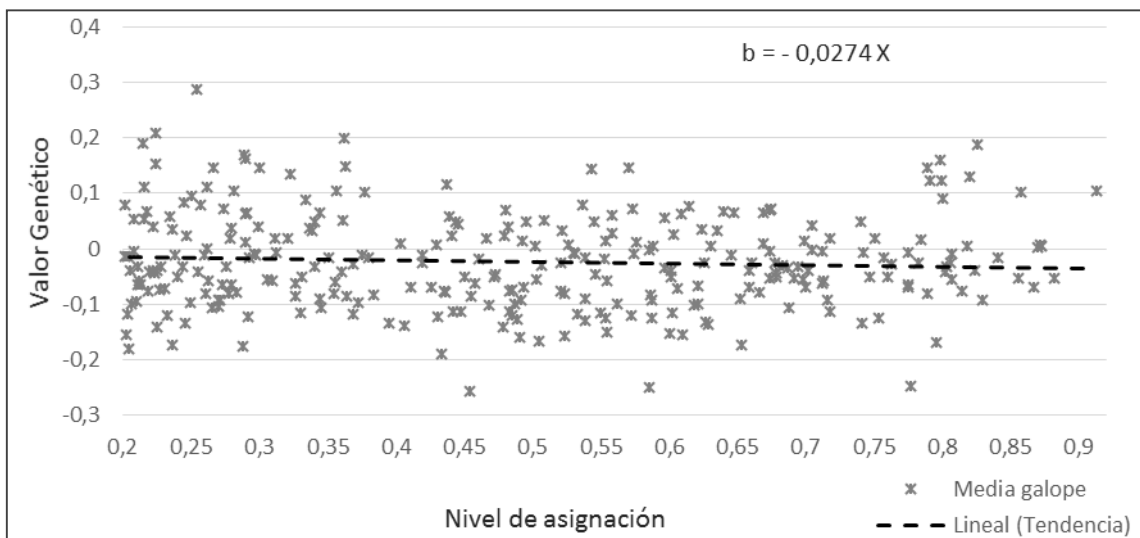


Figura 5.11. Regresión entre los valores genéticos para el carácter galope respecto al nivel de asignación de sangre árabe.

5.5.- DISCUSIÓN

La caracterización genética o el estudio de la biodiversidad ya han sido abordados ampliamente en muchas razas equinas españolas (Cañon y col., 2000; Solis y col., 2005; Marletta y col., 2006), no obstante no se conocen estudios previos realizados únicamente

en la población Hispano-Árabe. La utilización de herramientas moleculares se aborda por primera vez para caracterizar genéticamente a la población y a través de estas herramientas moleculares realizar un estudio completo sobre la influencia de las razas fundadoras en la población actual. Diecisiete marcadores se han utilizado para este estudio y se emplean para estimar de manera exacta las proporciones genéticas referentes a las razas fundadoras.

5.5.1. Caracterización genética

La diversidad genética total de la población Hispano-Árabe fue alta (0,71) y 0,68 en promedio para el resto de las razas estudiadas. Esta alta diversidad genética fue comparable con las de otras razas de caballos (Cunningham y col., 2001; Barcaccia y col., 2013; Khanshour y col., 2013). Como se esperaba, la intensidad de selección hace que la variabilidad genética disminuya. El Pura Sangre Árabe mostró los valores más bajos de diversidad genética (0,64), seguido por el Pura Sangre Inglés (0,69). La diferencia entre la heterocigosis observada y esperada no resultó significativamente distinta de cero, por tanto no se evidencia un desequilibrio de heterocigotos en la raza equina Hispano-Árabe. Estos valores son muy similares a los encontrados en otras razas españolas e internacionales (Vega-Pla y col., 2006), en razas asiáticas (Ling y col., 2011) o en razas americanas (Conant y col., 2012).

El número medio de alelos observados fue de 8,59. Este valor es superior al encontrado en otras poblaciones equinas de ámbito nacional, como el Asturcón (7,1), Caballo Gallego (7,8) o Jaca Navarra (7,8; Cañon y col., 2000); siguiendo la misma tendencia, a nivel internacional este valor fue elevado a lo hallado en el Franches-Montagnes (6,4; Glowatzki-Mullis y col., 2006), Terceira Pony (7; Lopes y col., 2015) o en el Italian Lipizzan (4,7; Barcaccia y col., 2013), todo ello esperable para una raza de origen híbrido.

El nivel de RA, el número medio de alelos y las heterocigosidades encontrados en la raza Hispano-Árabe estuvieron dentro de los rangos normales de la especie y por lo tanto similares a los encontrados previamente en razas españolas (Cañon y col., 2000; Solis y col., 2005; Marletta y col., 2006; Cortés y col., 2015), así como en el caballo Danés

(Thirstrup y col., 2008), el caballo de tiro alemán (Aberle y col., 2004) o en el caballo francés (Glowatzki-Mullis y col., 2006). La raza HÁ mostró una mayor variabilidad genética que las otras razas bajo estudio, y este comportamiento puede ser debido con mucha probabilidad a que su libro genealógico permanece abierto y por consiguiente existe migración continua de genes desde las razas originales. A pesar de esta particularidad el caballo Hispano-Árabe mostró unos adecuados parámetros de diversidad genética que salvaguardan su supervivencia como raza. Las razas PRE y PRÁ tienen un nivel similar de variación genética, aunque tienen diferentes políticas de mejora.

Seis por ciento de la variación total se debió a las diferencias entre grupos. Al igual que en otros estudios utilizando microsatélites, la mayor parte de la variación genética correspondieron a las diferencias entre los individuos, y sólo el 3,32% de la variación total se debió a la diferenciación entre razas, un valor bajo al encontrado en otras especies domésticas, como por ejemplo: 8,4% en bovinos criollos (Delgado y col., 2012), 8% en razas equinas célticas (Cañon y col., 2000), menos del 7% en razas ovinas de las Islas Baleares (Pons y col., 2015), y significativamente más bajo al 11% encontrado en razas porcinas criollas (Revidatti y col., 2014). Los resultados del presente estudio indican que todas las poblaciones incluidas en el mismo muestran niveles de diferenciación genética que son suficientes para seguir trabajando en ellas en su conservación y mejora, y a la vez, promoviéndolas tanto a nivel nacional como internacional.

El coeficiente FIS de la población es de 0,034 y no es significativamente diferente de cero, lo que indica que a pesar de ser una raza resultado de la hibridación, el caballo Hispano-Árabe no muestra una desviación significativa del equilibrio Hardy-Weinberg. A la vista de los resultados encontrados, el caballo Hispano-Árabe presenta una elevada diversidad genética intra-racial, similar a la detectada en otras razas equinas de España (Cañon y col., 2000; Marletta y col., 2006) o internacionales (Berber y col., 2014). Una estricta vigilancia de la evolución de la diversidad genética intra-racial de la raza en años sucesivos es necesaria para evaluar si la gestión genética de la misma está siendo la adecuada.

Las largas distancias genéticas encontradas con el PSI y la proximidad con las razas Ibéricas eran previstas. Estos resultados nos indican el escaso grado de diferenciación genética entre las tres razas de la Península Ibérica, y más aún, cuando dos de estas razas son las fundadoras del caballo HÁ (Cervantes y col., 2009). Esta proximidad se confirma con los valores de distancias genéticas entre pares de poblaciones (**Tabla 5.5**) y en el árbol de distancias genéticas (**Figura 5.1**), donde el caballo Hispano-Árabe se encuentra en el mismo clúster que el Caballo PRE y PRÁ. Por otra parte, cabe señalar que la representación gráfica (**Figura 5.1**), revelan diferentes presiones evolutivas y/o el origen diverso de los migrantes en la raza Árabe y el Pura Sangre Inglés.

Las distancias genéticas tienden a sobreestimar la diversidad genética en poblaciones endogámicas en las que la deriva genética causa frecuencias alélicas muy diferentes. Pero en poblaciones grandes y no endogámicas las poblaciones se caracterizan incluso con las distribuciones de las frecuencias de los mismos alelos. Por lo tanto, la información de la diversidad genética, evaluada mediante el análisis intra y entre poblaciones puede permitir que las prioridades de mejora y conservación sean mejor establecidos. Por otra parte, en el presente estudio sólo se considera la información proporcionada por los marcadores neutros. Estos son de interés para conocer la historia y la evolución de las poblaciones (Marletta y col., 2006), pero en programas de mejora genética, la variabilidad genética adicional basado en loci específicos relacionados con caracteres funcionales de impacto económico deben ser considerados.

Tanto los estadísticos FST como el AFC confirmaron que existen cuatro razas distintas. La raza HÁ es fruto del cruzamiento dirigido entre el PRE y PRÁ, pero las estrategias de mejoramiento como las políticas de reproducción o la selección masal al parecer han dado lugar, en gran medida, a la fijación y diferenciación genética del caballo Hispano-Árabe. Cortes y col., (2015) reportaron que el caballo Hispano-Árabe se agrupaba de forma clara con las razas Ibéricas; esto se confirma en el presente trabajo por los resultados del software Structure.

Al asumir dos clúster o poblaciones, el análisis mostró que las razas de la Península Ibérica se agruparon en un solo grupo. El agrupamiento de los individuos HÁ con las

poblaciones PRE y PRÁ nos indica que se derivan de ancestros en común. Sin embargo, al considerar cuatro poblaciones se aprecia como un pequeño grupo de caballos HÁ empiezan a diferenciarse de sus razas fundadoras, y que posiblemente, después de varios años de selección los caracteres genéticos propios de la raza empiecen a fijarse. Esto se explica por el hecho que después de varias generaciones de cruzamientos se ha creado una combinación de alelos procedentes de las poblaciones fundadoras y a la existencia de HÁ ancestrales en el pedigrí y por lo tanto se separan como estratos de poblaciones diferentes debido a la deriva genética por selección. Ante este escenario que se nos presenta, es recomendable tomar en cuenta estos resultados en el programa de mejora y difusión de la raza, y a través del uso de herramientas moleculares buscar loci relacionados con los caracteres funcionales (Doma vaquera, armonía, paso, trote y galope) de interés económico en el caballo Hispano-Árabe.

5.5.2. Método de Asignación de individuos a poblaciones

El análisis del conjunto de información molecular que se ha utilizado ha sido capaz de discriminar los individuos Hispano-Árabes de entre las poblaciones de referencia que han sido muestreadas para llevar a cabo este trabajo, las razas Pura Raza Español, Pura Raza Árabe y Pura Sangre Inglés. Como sugieren otros estudios (Vega-Pla y col., 2003; Thirstrup y col., 2008; Martínez y col., 2010), los resultados deben interpretarse como derivados de una situación y dependientes de la representatividad de las muestras tomadas en las poblaciones de referencia.

La utilización de los métodos supervisado y no supervisado indican claramente que el caballo Hispano-Árabe posee en su fórmula genética genes árabes y españoles, y además se aprecia la formación de un grupo genético que se diferencia claramente de sus razas fundadoras. Los resultados obtenidos muestran que estos métodos se comportan de una forma robusta en la asignación de los individuos a cada una de estas poblaciones originales y que se mantienen de una repetición a otra. Por lo tanto, los análisis realizados en esta muestra de individuos pueden ser considerados fiable, ya que la asignación individual a las diferentes poblaciones originales es repetible en los diferentes métodos. Así mismo, una vez estimados los coeficientes de asignación

individual, se tomó una muestra al azar de individuos y se comprobó que estos resultados se corroboran a los registros genealógicos disponibles en el Libro Genealógico de la raza.

5.5.3. Análisis del uso de los porcentajes de sangre vs los coeficientes de asignación

Con estos resultados se demuestra que los porcentajes de sangre calculados utilizando solo la información del pedigrí del animal se corresponden con los obtenidos a través de herramientas moleculares. Y por lo tanto, el cálculo de los valores genéticos no se verá alterados si se utilizara en el modelo cualquiera de estos dos valores. Sin embargo, el uso de los coeficientes de asignación pueden ser útiles en aquellos casos en los que se desconoce la identificación de algún progenitor y por lo tanto el valor del porcentaje de sangre puede ser sub o sobreestimado.

Estos resultados arrojan que las buenas aptitudes deportivas y físicas heredadas de las razas fundadoras (PRE y PRÁ) son apreciables en la población del caballo Hispano-Árabe. Aptitudes como son el equilibrio, la resistencia y sus cualidades atléticas heredadas del caballo PRÁ se ven plasmados en estos resultados, observando como los individuos que poseen en su genoma más proporciones genéticas del caballo PRÁ muestran un mejor rendimiento en los caracteres del paso y trote. Sus condiciones físicas hacen de este caballo sea apto para distintas disciplinas ecuestres como raid, salto, doma, entre otras.

Por otro lado, los resultados respecto al carácter de conformación (armonía) muestran que su mejor rendimiento lo obtiene cuando en su genoma existen más genes del Pura Raza Español, extrayendo del español su sobriedad, inteligencia y capacidad de aprendizaje (Delgado y col., 2005).

Las diversas razas de caballos presentan distintas características físicas que adecuan su idoneidad para cada tipo de competición hípica. La pureza de raza apenas existe, porque los cruces han sido constantes a lo largo de la historia, en busca de la mejor calidad de los ejemplares.

Los equinos poseen movimientos innatos que están regulados por las marchas o formas de desplazamiento que realice el caballo, los cuales son conocidos como aires. Los caballos poseen dos tipos de aires: los artificiales que son el resultado de una doma y enseñanza; y los naturales que son aquellos que el caballo realiza en forma normal y que son básicamente el Paso, Trote y el Galope (Adams, 1974).

El paso es la marcha más útil del caballo y es considerada la madre de todas las marchas. El trote es una marcha más rápida de dos golpes, y de acuerdo a la raza van a existir variaciones en la altura, longitud y rapidez del trote (Evans y col., 1979). En cuanto al galope existen dos tipos. Un tipo es el galope de ensayo que consiste en una marcha rápida de tres golpes, mientras que el otro par lo hace en forma independiente seguido por un movimiento de suspensión.

Además de los factores ambientales los aires se ven influenciados por la raza, y con los resultados observados en este estudio se puede apreciar que es realmente notable la labor realizada por los criadores, quienes han logrado crear una increíble variación mediante el cruzamiento de dos razas, consiguiendo un caballo equilibrado y versátil que tiene un desempeño excelente en diferentes disciplinas.

Conocer el patrón de movimiento de un caballo es esencial para determinar los posibles usos que se le pueden dar; éste es el caso para determinar si son aptos para la doma, raid, hípica, equitación, etc. Una de las grandes ventajas del caballo Hispano-Árabe es su excelente carácter, capacidad de aprendizaje y cualidades atléticas que lo hace apto para diferentes usos; entre ellos, la participación en disciplinas deportivas, turismo ecuestre, transporte y uso para el trabajo.

5.6.- CONCLUSIONES

- El uso de herramientas moleculares es la mejor elección para el análisis de asignación en poblaciones donde existen la influencia de varios grupos genéticos. Los análisis realizados en esta población han sido los primeros que se realizan en la especie equina y se han demostrado muy fiables, ya que la asignación individual a

las diferentes poblaciones originales es repetible en los diferentes métodos utilizados y coinciden con los datos del pedigrí.

- Estos resultados apoyan la hipótesis de que el caballo Hispano-Árabe se ha diferenciado genéticamente de sus razas fundadoras de manera ancestral. Esta población diferenciada ha mostrado niveles de diversidad y existe la oportunidad de gestionar genéticamente estos recursos, añadiendo alguna modificación en el libro genealógico que haga que se prioricen la conservación de sus genotipos ancestrales, su diversidad genética y la mejora de la raza.
- El caballo Hispano-Árabe es un recurso genético valioso con un alto nivel de diversidad genética. Los análisis muestran que existe una diferenciación genética del resto de poblaciones. En cuanto a la estructura genética, la raza Hispano-Árabe es una población que empieza a definirse genéticamente, es decir, un grupo de individuos que compone la población son genéticamente muy semejantes entre sí y diferentes de los nuevos cruces. Por lo tanto, el programa de cría debe gestionarse correctamente para mantener la diversidad genética y alélicas global de la población.
- Los marcadores moleculares se han convertido en herramientas fundamentales para los programas de investigación básica en genómica animal. En los caballos, prometen encontrar utilidad no sólo para llevar a cabo la selección indirecta de animales basados en marcadores ligados a caracteres de interés (por ejemplo, mutaciones que afectan a la locomoción y/o genes que mejoren caracteres funcionales), sino también para la gestión de los programas de mejora y conservación (es decir, controles de filiación o la optimización de los apareamientos).
- Se ha podido demostrar en algunos criterios de selección, como la armonía, una fuerte relación entre los niveles de sangre Árabe y la expresión genética del carácter. Sin embargo, ningún signo de heterosis pudo apreciarse en la superioridad de los heterocigotos de la F1.

5.7.- BIBLIOGRAFÍA

- Aberle K.S., Hamann H., Drogemuller C. & Distl O. (2004) Genetic diversity in German draught horse breeds compared with a group of primitive, riding and wild horses by means of microsatellite DNA markers. *Animal Genetics* **35**, 270-7.
- Adams O.R. (1974) Lameness in horses. 3ª edición, Lea & Febiger. Philadelphia, Estados Unidos de Norte América.
- Barcaccia G., Felicetti M., Galla G., Capomaccio S., Cappelli K., Albertini E., Buttazzoni L., Pieramati C., Silvestrelli M. & Verini Supplizi A. (2013) Molecular analysis of genetic diversity, population structure and inbreeding level of the Italian Lipizzan horse. *Livestock Science* **151**, 124-33.
- Baudouin L., Piry S. & Cornuet J.M. (2004) Analytical Bayesian Approach for Assigning Individuals to Populations. *Journal of Heredity* **95**, 217-24.
- Belkhir K., Borsa P., Chikhi L., Raufaste N. & Bonhomme F. (2003) Genetix: 4.05 logiciel sous Windows TM pour la génétique des populations. Laboratoire Génome, Populations, Interactions, CNRS UMR 5000. Université de Montpellier II. Montpellier, France.
- Berber N., Gaouar S., Leroy G., Kdidi S., Tabet Aouel N. & Saidi Mehtar N. (2014) Molecular characterization and differentiation of five horse breeds raised in Algeria using polymorphic microsatellite markers. *Journal of Animal Breeding and Genetics* **131**, 387-94.
- Bjornstad G. & Roed K.H. (2002) Evaluation of factors affecting individual assignment precision using microsatellite data from horse breeds and simulated breed crosses. *Animal Genetics* **33**, 264-70.
- Boldman K.L. (1993) *A Manual for Use of MTDFREML. A Set of Programs to Obtain Estimates of Variances and Covariances [DRAFT]*. U. S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service.
- Cañon J., Checa M.L., Carleos C., Vega-Pla J.L., Vallejo M. & Dunner S. (2000) The genetic structure of Spanish Celtic horse breeds inferred from microsatellite data. *Animal Genetics* **31**, 39-48.
- Cervantes I., Gutiérrez J.P., Molina A., Goyache F. & Valera M. (2009) Genealogical analyses in open populations: the case of three Arab-derived Spanish horse breeds. *Journal of Animal Breeding and Genetics* **126**, 335-47.
- Conant E.K., Juras R. & Cothran E.G. (2012) A microsatellite analysis of five Colonial Spanish horse populations of the southeastern United States. *Animal Genetics* **43**, 53-62.
- Corander J., Marttinen P., Siren J. & Tang J. (2008) Enhanced Bayesian modelling in BAPS software for learning genetic structures of populations. *BMC Bioinformatics* **9**, 539.
- Cornuet J.M., Piry S., Luikart G., Estoup A. & Solignac M. (1999) New methods employing multilocus genotypes to select or exclude populations as origins of individuals. *Genetics* **153**, 1989-2000.
- Cortés O., J.L. V.-P., Berruezo A., Chomon N., Oom M.M., Dunner S., Delgado J.V., Gama L., Ginja C., Jordana J., Landi V., Luís C., Martín-Burrie I., Martínez A.M., Zaragoza P., Cañón J. & Consortium B. (2015) Posicionamiento genético de la raza equina Hispano-Bretón. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal. AICA* **5**, 70-7.

- Cunningham E.P., Dooley J.J., Splan R.K. & Bradley D.G. (2001) Microsatellite diversity, pedigree relatedness and the contributions of founder lineages to thoroughbred horses. *Animal Genetics* **32**, 360-4.
- Davies N., Villablanca F.X. & Roderick G.K. (1999) Determining the source of individuals: multilocus genotyping in nonequilibrium population genetics. *Trends in Ecology & Evolution* **14**, 17-21.
- Delgado J.V., Vega-Pla J.L., León J.M., Rodríguez de la Borbolla A., Vallecillo A. & Cabello A. (2005) Program of Genetic Management of the Hispano-Árabe Horse Breed. *Archivos de Zootecnia* **54**, 273-6.
- Delgado J.V., Martínez A.M., Acosta A., Álvarez L.A., Armstrong E., Camacho E., Canon J., Cortes O., Dunner S., Landi V., Marques J.R., Martín-Burriel I., Martínez O.R., Martínez R.D., Melucci L., Muñoz J.E., Penedo M.C., Postiglioni A., Quiroz J., Rodellar C., Sponenberg P., Uffo O., Ulloa-Arvizu R., Vega-Pla J.L., Villalobos A., Zambrano D., Zaragoza P., Gama L.T. & Ginja C. (2012) Genetic characterization of Latin-American Creole cattle using microsatellite markers. *Animal Genetics* **43**, 2-10.
- Evans J., Borton A., Hintz H. & Van Vleck L. (1979) *El caballo*. Acibia, Zaragoza, España.
- Excoffier L. & Lischer H.E.L. (2010) Arlequin suite ver 3.5: a new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows. *Molecular Ecology Resources* **10**, 564-7.
- Glowatzki-Mullis M.L., Muntwyler J., Pfister W., Marti E., Rieder S., Poncet P.A. & Gaillard C. (2006) Genetic diversity among horse populations with a special focus on the Franches-Montagnes breed. *Animal Genetics* **37**, 33-9.
- Guo S.W. & Thompson E.A. (1992) Performing the exact test of Hardy-Weinberg proportion for multiple alleles. *Biometrics* **48**, 361-72.
- Hansen M.M., Kenchington E. & Nielsen E.E. (2001) Assigning individual fish to populations using microsatellite DNA markers. *Fish and Fisheries* **2**, 93-112.
- Hardy G.H. (1908) Mendelian proportions in a mixed population. *Science* **28**, 49-50.
- Huson D.H. & Bryant D. (2006) Application of Phylogenetic Networks in Evolutionary Studies. *Molecular Biology and Evolution* **23**, 254-67.
- Jhonson D.L. & Garrick D.J. (1990) Data collection, processing and prediction of breeding values. In: *proceedings of the 4th W.C.G.A.L.P.*, pp. 337-46, Edinburgh, Scotland.
- Khanshour A., Conant E., Juras R. & Cothran E.G. (2013) Microsatellite analysis of genetic diversity and population structure of Arabian horse populations. *Journal of Heredity* **104**, 386-98.
- Ling Y.H., Ma Y.H., Guan W.J., Cheng Y.J., Wang Y.P., Han J.L., Mang L., Zhao Q.J., He X.H., Pu Y.B. & Fu B.L. (2011) Evaluation of the genetic diversity and population structure of Chinese indigenous horse breeds using 27 microsatellite markers. *Animal Genetics* **42**, 56-65.
- Lopes M.S., Mendonça D., Rojer H., Cabral V., Bettencourt S.X. & da Câmara Machado A. (2015) Morphological and genetic characterization of an emerging Azorean horse breed: the Terceira Pony. *Frontiers in Genetics* **6**, 62.
- Marletta D., Tupac-Yupanqui I., Bordonaro S., Garcia D., Guastella A.M., Criscione A., Cañon J. & Dunner S. (2006) Analysis of genetic diversity and the determination of relationships among western Mediterranean horse breeds using microsatellite markers. *Journal of Animal Breeding and Genetics* **123**, 315-25.

- Martínez A.M., Vega-Pla J.L., León J.M., Camacho M.E., Delgado J.V. & Ribeiro M.N. (2010) Is the Murciano-Granadina a single goat breed? A molecular genetics approach. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia* **62**, 1191-8.
- Nei M. (1987) *Molecular Evolutionary Genetics*. Columbia University Press, New York, Estados Unidos.
- Oldenbroek J.K. (1999) *Genebanks and the conservation of farm animal genetic resources*. DLO. Institute for Animals Science and Health, Lelystad, The Netherlands.
- Paetkau D., Slade R., Burden M. & Estoup A. (2004) Genetic assignment methods for the direct, real-time estimation of migration rate: a simulation-based exploration of accuracy and power. *Molecular Ecology* **13**, 55-65.
- Park S.D.E. (2001) Trypanotolerance in West African Cattle and the Population Genetics Effects of Selection. University of Dublin, Dublin, Ireland.
- Pons A.L., Landi V., Martínez A. & Delgado J.V. (2015) The biodiversity and genetic structure of Balearic sheep breeds. *Journal of Animal Breeding and Genetics* **132**, 268-76.
- Pritchard J.K., Stephens M. & Donnelly P. (2000) Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics* **155**, 945-59.
- R Core Team (2014) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria.
- Rannala B. & Mountain J.L. (1997) Detecting immigration by using multilocus genotypes. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **94**, 9197-201.
- Raymond M. & Rousset F. (1995) GENEPOP (Version 1.2): Population Genetics Software for Exact Tests and Ecumenicism. *Journal of Heredity* **86**, 248-9.
- Revidatti M.A., Delgado Bermejo J.V., Gama L.T., Landi Periat V., Ginja C., Alvarez L.A., Vega-Pla J.L. & Martínez A.M. (2014) Genetic characterization of local Criollo pig breeds from the Americas using microsatellite markers. *Journal of Animal Science* **92**, 4823-32.
- Reynolds J., Weir B.S. & Cockerham C.C. (1983) Estimation of the Coancestry Coefficient: Basis for a Short-Term Genetic Distance. *Genetics* **105**, 767-79.
- Rosenberg N.A. (2004) *distruct: a program for the graphical display of population structure*. *Molecular Ecology Notes* **4**, 137-8.
- SAS I. (2009) *What's New in SAS® 9. 2*. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Silva L.O., Filho K.E., Figueredo G.R., Nobre P.R. & Josahkian L.A. (1998) Genetic trends in Zebu (*Bos indicus*) breeds in Brazil. In: *proceeding of the 6th W.C.G.A.L.P*, pp. 137-40, Armidale, Australia.
- Solis A., Jugo B.M., Meriaux J.C., Iriondo M., Mazon L.I., Aguirre A.I., Vicario A. & Estomba A. (2005) Genetic diversity within and among four South European native horse breeds based on microsatellite DNA analysis: implications for conservation. *Journal of Heredity* **96**, 670-8.
- Thirstrup J.P., Pertoldi C. & Loeschcke V. (2008) Genetic analysis, breed assignment and conservation priorities of three native Danish horse breeds. *Animal Genetics* **39**, 496-505.
- Valencia P., M., Dobler L., J. & Montaldo H.H. (2005) Genetic trends for milk yield in a flock of Saanen goats in Mexico. *Small Ruminant Research* **57**, 281-5.
- Vega-Pla J.L., Martínez A.M., Cabello A., Rodríguez-Gallardo P.P. & Delgado J.V. (2003) Preliminary study of individual assignment of Iberian pigs using DNA genetic markers. *Archivos de Zootecnia* **52**, 225-30.

- Vega-Pla J.L., Calderon J., Rodriguez-Gallardo P.P., Martinez A.M. & Rico C. (2006) Saving feral horse populations: does it really matter? A case study of wild horses from Donana National Park in southern Spain. *Anim Genet* **37**, 571-8.
- Waser P.M. & Strobeck C. (1998) Genetic signatures of interpopulation dispersal. *Trends in Ecology & Evolution* **13**, 43-4.
- Weir B.S. & Cockerham C.C. (1984) Estimating F-Statistics for the Analysis of Population Structure. *Evolution* **38**, 1358-70.
- Wright S. (1965) The Interpretation of Population Structure by F-Statistics with Special Regard to Systems of Mating. *Evolution* **19**, 395-420.



CONCLUSIONES GENERALES

1. El análisis del pedigrí en el caballo Hispano-Árabe indica que es una población con clara tendencia a la expansión. La raza presenta un pedigrí poco profundo siendo recomendable realizar cambios en la gestión del Libro Genealógico. Diferentes parámetros evidencian el mantenimiento de la diversidad genética, sin embargo, cambios en las estrategias de selección y apareamientos deben ser considerados, con el objetivo de asegurar que la contribución genética de fundadores y ancestros sea equilibrada a fin de garantizar la variabilidad genética en las siguientes generaciones.
2. Los resultados indican que, el caballo Hispano-Árabe presenta unos rendimientos funcionales aceptables y acordes con otras razas nacionales e internacionales. El efecto de la ganadería, el juez y el tipo de prueba son los que mayor proporción de la varianza explican. Sin embargo, las diferencias existentes entre los jueces sugieren que se deben realizar cambios en el esquema de juzgamiento. Por lo tanto, se recomienda que se considere en un futuro utilizar una escala de valoración lineal, y que los jueces utilicen toda la escala de evaluación.
3. En general, estos resultados indican que, existe alta variabilidad genética aditiva para la armonía y los caracteres de movimiento en el caballo Hispano-Árabe, y estos son satisfactorios en términos del progreso genético esperado en el programa de mejora. Las favorables correlaciones genéticas existentes entre todas las combinaciones indican que es posible seleccionar simultáneamente, la conformación y aires. Las correlaciones genéticas con el galope son particularmente altas, lo que indica que este carácter puede ser un criterio de selección adecuado en las primeras etapas del programa de selección, dando como resultado mejores respuestas en todos los otros caracteres. De la comparación entre la metodologías infinitesimal y bayesiana se extrae un ligero beneficio en la utilización de la segunda sobre todo en el cálculo de las correlaciones genéticas.
4. Los resultados indican que, a pesar de tener un progreso genético leve, los beneficios de la selección en el Hispano-Árabe se aprecian desde la puesta en marcha del Programa de Mejora. A pesar de estos resultados, existe la suficiente

variabilidad genética en todos los caracteres analizados, y la respuesta a la selección podría ir más lejos si la utilización de sementales probados genéticamente fuera mayor. Por lo tanto, se recomienda alentar a los ganaderos a utilizar la genética disponible en la raza.

5. El uso de las herramientas moleculares ha demostrado ser eficientes en el análisis de asignación en poblaciones donde existen la influencia de diferentes grupos genéticos. Los resultados indican que, el caballo Hispano-Árabe dispone de una base que se diferencia genéticamente de sus razas fundadoras. Es decir, un grupo de individuos que compone la población son genéticamente muy semejantes entre sí, por lo tanto, se sugiere que se realicen modificaciones en el programa de cría con el objetivo de mantener ésta identidad genética de la raza.

GENERAL CONCLUSIONS

1. Analysis of the pedigree in the Hispano-Arabe horse indicates a clear trend to population expansion. The breed has a shallow pedigree, and some changes in Stud Book management are recommended. Different parameters demonstrate the maintenance of genetic diversity, however, changes in the selection and mating strategies should be considered, in order to ensure that the genetic contribution of founders and ancestors is balanced to ensure genetic variability in the following generations.
2. This results indicate that the Hispano-Arabe horse shows acceptable functional performances, consistent with other national and international breeds. The effect of stud, the judge and the type of event explained the largest proportion of variance. Nevertheless, the differences between the judges suggest that changes should be made in the trial scheme. Therefore, we recommend the use of linear scoring evaluation and that judges use whole scale of evaluation.
3. In general, this results indicate that there is high additive genetic variability for harmony and movement characters in the Hispano-Arabe horses, and these are satisfactory in terms of genetic progress expected in the improvement program. The favourable genetic correlations between all combinations found indicate that it is possible to select simultaneously, the conformation and gaits. Genetic correlations with the gallop are particularly high, which indicates that this character could be an appropriate selection criteria in the early stages of the selection program, resulting in better responses in all other traits. Comparison between infinitesimal and Bayesian shows a slight advantage on using the second one to calculate genetic correlations.
4. This results indicate that, despite the slight genetic progress observed, clear benefits can be appreciated as a consequence of the Hispano-Arabe breeding program. In spite of these results, a sufficient genetic level of variability for all traits analyzed has been detected, and the response to selection could be improved with a broader use of genetically tested sires. In this sense, it is recommended to encourage farmers to use the available genetic background of this breed.

5. Molecular tools have demonstrated to be efficient for assignment analysis in populations with influence from different genetic groups. The results indicate that the Hispano-Arabe horse possess a genetically different base from the parental breeds. A group of close genetically individuals of the population has been detected and thus, the opportune changes in the breeding program in order to maintain the genetic identity of this breed should be recommended.