

Relaciones genéticas entre razas ibéricas de caballos utilizando caracteres morfológicos (prototipos raciales)

J. Jordana y P. M. Parés

Unitat de Genètica i Millora Animal, Departament de Patologia i de Producció Animals, Facultat de Veterinària, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193-Bellaterra, Barcelona, España

Resumen

A partir del estudio cualitativo y cuantitativo de 46 caracteres morfológicos, obtenidos a partir de recopilaciones bibliográficas, se analizan las relaciones existentes entre 17 poblaciones equinas de la Península Ibérica (14 razas españolas y 3 portuguesas).

Los resultados obtenidos permiten clasificar a las diferentes razas en sus correspondientes troncos ancestrales: *Equus ferus gmelini*, *Equus ferus przewalski* y *Equus ferus solutreensis*, integrándose los representantes de los dos primeros grupos en el llamado Tronco Tarpánico.

El promedio de distancia morfológica entre razas, medida como MCD (Mean Character Difference, o promedio de diferencias entre caracteres), tomó un valor de $0,51 \pm 0,11$. El análisis cuantitativo de los datos indica que el grupo que forman los poney ibéricos es morfológicamente muy semejante, a diferencia de lo que ocurre con los grupos de los caballos de silla y los de tiro.

Se analizan las relaciones y se discuten las causas de la variabilidad morfológica entre grupos.

Summary

Starting from the qualitative and quantitative examination of 46 morphological characters, obtained from bibliographical recompilation, the relationships existing between 17 equine

populations of the Iberian Peninsula (14 Spanish and 3 Portuguese breeds), were analysed.

The results obtained allow the different breeds to be classified in their corresponding ancestral trunks: *Equus ferus gmelini*, *Equus ferus przewalski* and *Equus ferus solutreensis*, integrating the representatives of the first two groups into the so called Tarpanic Trunk.

The average morphological distance between breeds, measured as MCD (Mean Character Difference), had a value of 0.51 ± 0.11 . The quantitative analysis of data indicated that the group formed by the Iberian ponies is morphologically very similar, in contrast to that which occurs with the groups of the riding and carriage horses.

The relationships are analysed, and the causes of the morphological variability between groups are discussed.

Key words: *Iberian horse breeds, Morphological characters, Genetic relationships, Dendrogram.*

Introducción

Para estudiar las relaciones genéticas existentes entre diferentes especies, razas o poblaciones, el material más apropiado debería ser el análisis de la variabilidad de genes neutros estructurales, con una elevada tasa de polimorfismo y sin ninguna relación con respecto a la eficacia biológica de los individuos, cuyos alelos hubieran aparecido en la población por mutación y se hubieran mantenido o perdido por deriva. Este

material sería, por ejemplo, los llamados polimorfismos bioquímicos, y más especialmente los marcadores de ADN, minisatélites y microsateélites (Bruford y Wayne, 1993; Bowcock *et al.*, 1994).

Existen diferentes estudios llevados a cabo en la especie equina utilizando marcadores genéticos (Bowling y Clark, 1985; Rognoni *et al.*, 1996; Behara *et al.*, 1998). No obstante, el análisis, mediante métodos de taxonomía numérica (Sneath y Sokal, 1973), de diversos caracteres morfológicos, podría proveer de información adicional que suplementara estas investigaciones, y en algunos casos podría ayudar a contrastar algunas de las hipótesis mantenidas por otros autores, postuladas a partir de diferentes fuentes de información: históricas, arqueológicas, bioquímicas, etc., (Altarriba *et al.*, 1979; Lauvergne *et al.*, 1988; Jordana *et al.*, 1992, 1993).

La importancia de los caracteres morfológicos en la reconstrucción de las relaciones genéticas en razas de caballos, quedó patente en el trabajo llevado a cabo por Jordana *et al.* (1995) en un total de 22 poblaciones equinas mundiales a partir del análisis de 30 caracteres morfológicos, puntualizando, sin embargo, que los resultados obtenidos intentan tan solo mostrar el grado de relación y semejanza morfológica entre razas actuales de caballos, el cual puede ser o no un indicador de la verdadera historia evolutiva de las poblaciones. Debemos considerar que los caracteres morfológicos han estado sujetos, durante un largo periodo de tiempo, a la selección natural y artificial, así como al hecho de que ha existido migración génica entre alguna de estas poblaciones, siendo por tanto estas fuerzas evolutivas las que habrían tenido un mayor peso en el proceso de diferenciación racial.

El principal objetivo de este artículo es estudiar las relaciones existentes entre todas las razas equinas de la Península Ibérica (España y Portugal), a partir del análisis cualitativo y cuantitativo de datos morfológicos, utilizando métodos estadísticos

(SAS, 1989) y programas computacionales diseñados específicamente para tal tipo de análisis (Swofford, 1993).

Material y Métodos

Razas estudiadas

Se analizaron un total de 17 poblaciones equinas Ibéricas. Cinco razas de aptitud silla: Andaluza (AND), Catalana (CAT), Lusitana (LUS), Mallorquina (MAL) y Menorquina (MEN); ocho razas de poneys: Asturcón (AST), Gallego (GAL), Garrano (GAR), Jaca Navarra (JAN), Jaca Soriana (JAS), Losino (LOS), Pottoka (POT) y Sorraia (SOR), y cuatro razas de tiro: Aragonesa (ARA), Bretón Cerdà (BRC), Bretón Empordanès (BRE) y Burguete (BUR). También se incluyó en este estudio la Raza Asnal Catalana (RAC) como población *outgroup*. La localización geográfica se muestra en la figura 1. Algunas razas de caballos se muestran en las figuras de 4 a 12.

Caracteres y análisis

Tomando como referencia un individuo ideal, representativo de cada una de las 17 poblaciones equinas y de la raza asnal catalana, se analizaron un total de 46 caracteres morfológicos. El estado de cada uno de los caracteres, para cada raza, se estableció a partir de datos bibliográficos de diferentes estudios morfológicos de la raza en cuestión; Andaluza (Aparicio *et al.*, 1986), Aragonesa y Bretón Empordanès (Homedes, 1967; Sierra, 1987), Asturcón (García-Dory, 1980), Bretón Cerdà (Torres, *et al.*, 1983; Parés y Parés, 1991), Burguete (Gil y Martínez, 1958; Dévimeux, 1988), Catalana (Moyano, 1908), Gallego (Iglesia, 1983; Santamarina, *et al.*, 1992), Garrano, Sorraia y Lusitana (Oom, 1992), Jaca Navarra (Donezar, 1951), Jaca Soriana y Losino (Ferrerías, 1935a), Mallorquina (Payeras y Pons, 1991), Menorquina (Sánchez-Belda, 1987), Pottoka (Ferrerías, 1935b; Maguregi *et al.*, 1992) y la Raza Asnal Catalana (Jordana y Folch, 1996).

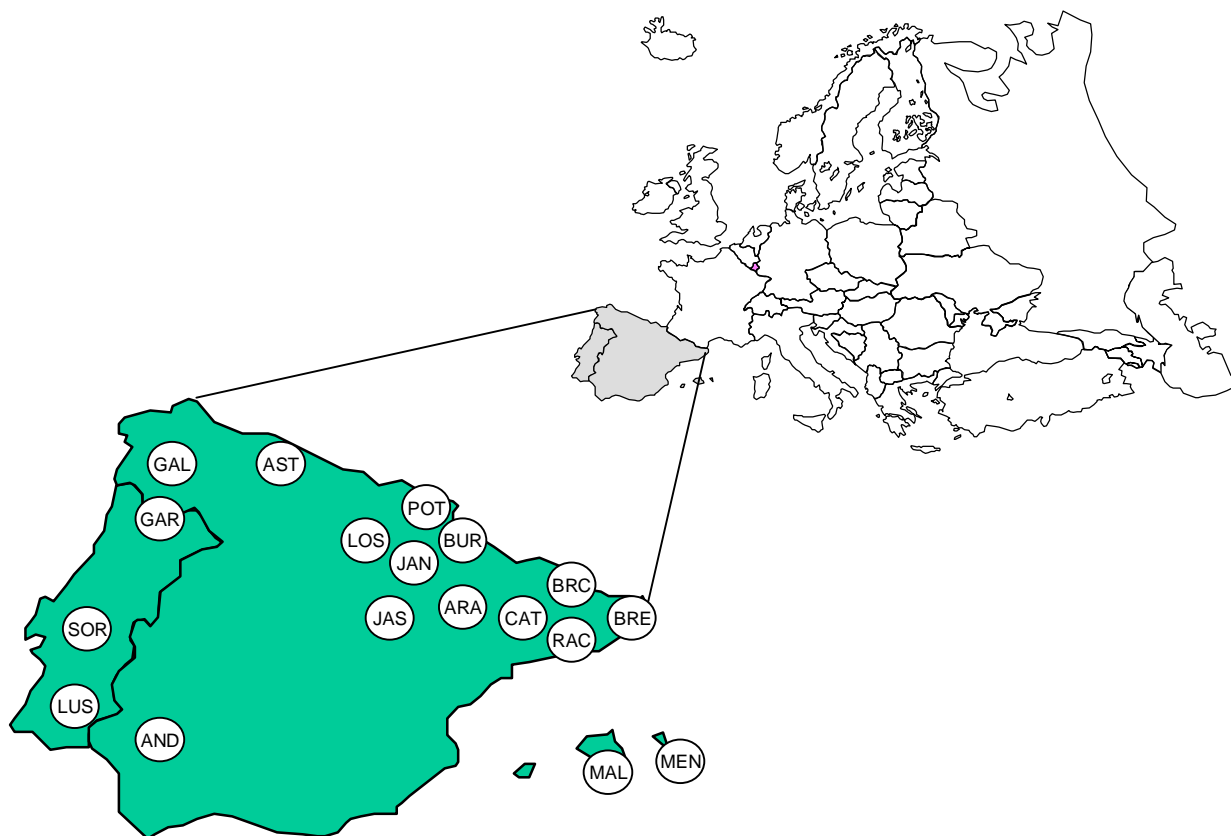


Figura 1. Principal localización geográfica de las razas equinas ibéricas.

Para cada estado de los diferentes caracteres se asignó un orden numérico de forma arbitraria. Estos números no representan ninguna ponderación específica. El número de estados para cada carácter se estableció dependiendo del número de clases fenotípicamente distinguibles. Los caracteres utilizados y el estado de los mismos se muestran en la tabla 1. La matriz original de semejanzas morfológicas se muestra en la tabla 2.

El programa PAUP (Swofford, 1993) se utilizó para realizar el análisis cualitativo de los datos a partir de los caracteres discretos mostrados en la tabla 2. Este análisis se basa en el principio de la parsimonia, es decir, el árbol generado (dendrograma) sería aquel que requiriera el menor número posible de pasos o transiciones del estado del carácter, sumados a través de todas las ramas. El método utilizado fue el de la parsimonia de Fitch (Fitch, 1971). Para darle una dirección evolutiva, los árboles resultantes fueron

rotados utilizando el método del *outgroup* (Farris, 1972) con la Raza Asnal Catalana. El programa PAUP nos permite, asimismo, calcular la confianza que nos merece la topología, mediante un análisis *bootstrap* (Efron, 1979) adaptado a la inferencia de filogenias (Felsenstein, 1985). Se realizaron cien replicaciones *bootstrap*, y el árbol de consenso se obtuvo basándonos en el método *majority-rule* (Margush and McMorris, 1981) producido por el algoritmo *global-branch-swapping* (Hendy and Penny, 1982). Para el análisis cuantitativo, los datos cualitativos fueron transformados y procesados en forma de una matriz de distancias. Se calculó el promedio de diferencias entre caracteres o distancia MCD (Mean Character Difference) propuesta por Cain y Harrison (1958), la cual varía de 0 a 1, y se utilizó como una medida de parecido taxonómico. Los cálculos se llevaron a cabo utilizando el paquete estadístico SAS (1989).

Tabla 1. Caracteres y estados de los mismos, utilizados en la construcción de la matriz de semejanzas morfológicas.

(A) Perfil cefálico	(B) Tamaño corporal
0. Subcóncavo	0. Elipométrico
1. Rectilíneo	1. Eumétrico
2. Subconvexo	2. Subhipermétrico
3. Rectilíneo o Subconvexo	3. Hipermétrico
4. Convexo	
(C) Proporción long/anchura	(D) Alzada a la cruz
0. Brevilíneo	0. < 140 cm.
1. Mesolíneo	1. 141 - 148 cm.
2. Sublongilíneo	2. 149 - 154 cm.
3. Longilíneo	3. 155 - 160 cm.
	4. 161 - 170 cm.
(E) Perímetro torácico	(F) Peso vivo en machos
0. < 160 cm.	0. < 200 Kg
1. 161 - 170 cm.	1. 200 - 450 Kg
2. 171 - 185 cm.	2. 450 - 500 Kg
3. 186 - 190 cm.	3. 500 - 650 Kg
	4. 650 - 1 000 Kg
(G) Proporción cabeza/cuerpo	(H) Anchura de la cabeza
0. Pequeña	0. Estrecha
1. Proporcionada	1. Media
2. Grande	2. Ancha
(I) Tamaño de la frente	(J) Perfil frontal
0. Reducida	0. Cóncavo
1. Mediana	1. Recto
2. Grande	2. Subconvexo
	3. Subcóncavo
	4. Convexo
(K) Longitud de la cara	(L) Perfil de la cara hasta la parte inferior de los supranasales
0. Acortada	0. Cóncavo
1. Mediana	1. Recto
2. Alargada	2. Convexo
(M) Perfil de la cara desde la parte inferior de los supranasales	(N) Tamaño de las orejas en relación a la cabeza
0. Cóncavo	0. Largas
1. Recto	1. Medianas
2. Convexo	2. Pequeñas
(O) Orbitas	(P) Apófisis cigomáticas
0. Salientes	0. Poco manifiestas
1. De prominencia media	1. Bien manifiestas
2. No salientes	

(To be continued...)

(...To be continued)

(Q) Supranasales

0. Estrechos
1. Anchos

(S) Labios

0. Finos
1. Gruesos

(U) Forma del cuello

0. Piramidal
1. Masivo
2. Cervuno

(W) Anchura del cuello

0. Delgado y estrecho
1. Medio
2. Ancho

(Y) Longitud de la espalda

0. Corta
1. Media
2. Larga

(A) Conformación del pecho

0. Medio
1. Ancho
2. Muy ancho

(C) Longitud del dorso

0. Reducida
1. Mediana
2. Alargada

(E) Longitud del lomo

0. Reducida
1. Larga

(G) Grupa

0. Horizontal
1. Ligeramente inclinada
2. Inclinada
3. Inclinada y doble
4. Muy inclinada

(I) Extremidades

0. Finas y delgadas
1. Fuertes y robustas

(R) Ollares

0. Pequeños
1. Grandes

(T) Perfil del cuello

0. Ligeramente arqueado
1. Arqueado
2. Recto
3. Hundido

(V) Longitud del cuello

0. Corto
1. Medio
2. Largo

(X) Cruz

0. Poco prominente
1. Manifiesta

(Z) Costillar

0. Plano
1. Con suave arqueamiento
2. Cilíndrico

(B) Profundidad del pecho

0. Poco profundo
1. Intermedio
2. Profundo

(D) Línea dorsal

0. Ligeramente ensillada
1. Recta

(F) Línea del lomo

0. Ligeramente ensillada
1. Recta

(H) Nacimiento de la cola

0. Bajo
1. Medio
2. Alto

(J) Cascos

0. Pequeños y altos
 1. Medianos
 2. Grandes y anchos
-

(To be continued...)

(...To be continued)

<p>(K) Color de la capa</p> <ol style="list-style-type: none"> 0. Ratonera 1. Negra 2. Torda 3. Castaña 4. Alazana y castaña 5. Negra y castaña 6. Torda y castaña 	<p>(L) Marcas blancas</p> <ol style="list-style-type: none"> 0. Ausentes 1. Presentes o no en la cabeza, pero siempre de forma muy discreta. 2. Presentes en cabeza y extremidades. 3. Presentes o no en la cabeza y extremidades, pero siempre de forma muy discreta.
<p>(M) Raya de mulo</p> <ol style="list-style-type: none"> 0. Ausente 1. Presente 	<p>(N) Banda crucial</p> <ol style="list-style-type: none"> 0. Ausente 1. Presente
<p>(O) Cebraduras</p> <ol style="list-style-type: none"> 0. Ausentes 1. Presentes 	<p>(P) Piel</p> <ol style="list-style-type: none"> 0. Fina 1. Gruesa
<p>(Q) Crines</p> <ol style="list-style-type: none"> 0. Cola y crin cortas 1. Cola y crin largas y escasas cernejas 2. Cola y crin largas y abundantes cernejas 	<p>(R) Crin</p> <ol style="list-style-type: none"> 0. Enhiesta y corta 1. Caída
<p>(S) Aptitud fisiológico-mecánica</p> <ol style="list-style-type: none"> 0. Pony 1. Silla 2. Tiro ligero 3. Tiro pesado 4. Vive en estado salvaje 	<p>(T) Biotipología constitucional</p> <ol style="list-style-type: none"> 0. Hipermetabólico u oxidativo 1. Metabólico u ortosténico 2. Muscular o masivo.

Resultados y Discusión

Análisis cualitativo

El dendrograma resultante de la aplicación del método de la parsimonia de Fitch a los caracteres morfológicos (tabla 2) se muestra en la figura 2. La raza asnal Catalana se utilizó como población *outgroup*. Para la construcción del dendrograma el método de la parsimonia de Fitch necesitó 215 pasos o transiciones (longitud total del árbol) para reordenar los caracteres y obtener el árbol de

máxima parsimonia. El índice de consistencia (una medida de la homoplasia) fue de 0,456. Las distancias de rama y de internodos son proporcionales al número de cambios requeridos en el estado del carácter.

Los caballos domésticos actuales podrían ser descendientes de tres tipos fundamentales: el *Equus ferus gmelini*, el *Equus ferus przewalski*, y el *Equus ferus stenoris*, *robustus* o *solutreensis*. No obstante, Sotillo y Serrano (1985) y Groves (1986) postulan que el caballo de Przewalski (*Equus przewalski*) podría ser la variante sud-oriental del Tarpan

Tabla 2. Matriz de semejanzas morfológicas.

C/R ^a	RAC ^b	AND	ARA	AST	BRE	BRC	BUR	CAT	GAL	GAR	JAN	JAS	LOS	LUS	MAL	MEN	POT	SOR
A	0	2	4	1	0	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	1	2
B	2	1	2	0	3	2	2	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
C	3	0	1	1	0	1	1	3	1	1	1	1	1	1	2	1	0	1
D	1	3	3	0	4	2	1	2	0	0	0	0	0	3	2	4	0	0
E	0	2	4	0	4	3	2	1	0	0	0	0	0	2	2	2	1	0
F	1	2	4	1	4	3	3	1	1	0	0	0	1	3	2	2	1	0
G	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	0	0	1	2	2	1	0
H	2	0	2	0	1	1	2	0	0	0	1	1	0	1	2	1	0	0
I	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	2	1	2	0	2	1	2	2
J	1	4	2	3	1	1	1	1	2	1	1	1	1	4	2	1	0	4
K	2	2	2	2	2	2	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
L	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2
M	1	2	2	1	0	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1
N	0	1	0	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2
O	0	0	2	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1
P	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Q	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
R	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1
S	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1
T	2	1	1	3	2	1	0	2	3	2	3	2	2	0	2	0	3	3
U	0	1	1	2	1	1	1	1	0	2	2	2	2	0	0	1	2	2
V	2	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1
W	2	1	0	0	2	2	1	0	0	1	0	1	1	1	1	2	0	0
X	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1
Y	2	2	0	0	0	1	1	2	2	2	2	2	0	2	2	2	2	2
Z	1	1	2	1	2	2	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0

(To be continued...)

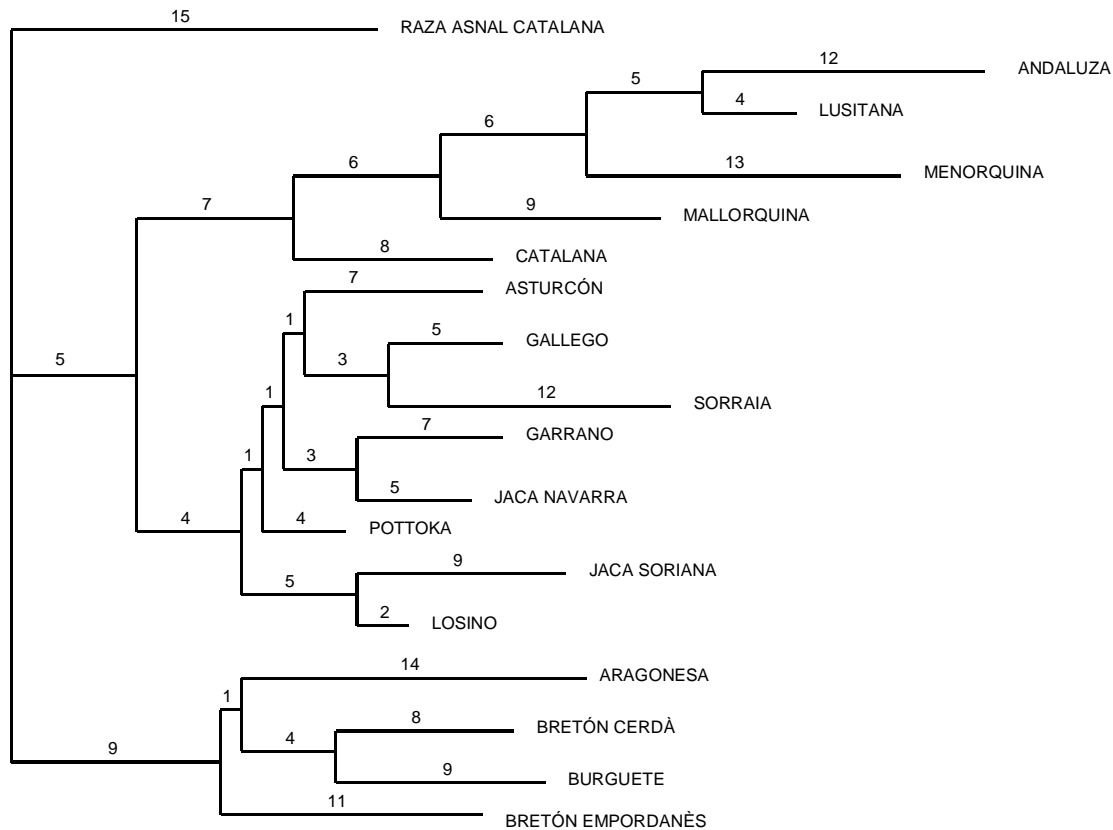
(...To be continued)

C/R ^a	RAC ^b	AND	ARA	AST	BRE	BRC	BUR	CAT	GAL	GAR	JAN	JAS	LOS	LUS	MAL	MEN	POT	SOR
A	1	1	1	1	2	2	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0
B	1	2	2	1	2	2	2	1	0	1	1	2	1	1	1	0	1	0
C	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
D	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1
E	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0
F	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
G	0	2	2	2	3	2	3	1	2	0	4	2	2	1	2	1	2	1
H	0	0	0	0	0	1	1	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
I	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0
J	0	1	2	0	2	2	2	1	0	0	0	0	0	1	2	1	0	1
K	1	2	2	1	5	4	3	5	5	3	3	6	5	6	1	1	5	0
L	2	2	0	0	3	2	0	3	2	2	0	1	1	3	0	3	0	2
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
P	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1
Q	0	2	2	1	2	2	2	1	0	1	1	2	1	1	1	2	1	1
R	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S	2	1	3	0	3	3	3	2	0	4	0	0	0	1	1	1	0	0
T	0	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1

^a C/R = Caracteres/Razas

^b Ver texto para los códigos

Figura 2. Análisis cualitativo de los datos morfológicos (Tabla 2). Dendrograma producido mediante el análisis PAUP, resultante de la aplicación del método de la parsimonia de Fitch. Las distancias de rama e internodos son proporcionales al número de cambios requeridos en el estado del carácter. El árbol fue rotado utilizando la raza asnal Catalana como población outgroup.



(*Equus gmelini*), y que habría sido introducido en Africa y Europa a través de Egipto y el Estrecho de Gibraltar (España), integrándose todos sus descendientes en el llamado Tronco Tarpánico. Los resultados obtenidos en el estudio de las razas equinas de la Península Ibérica y los obtenidos por Jordana *et al.* (1995) en un total de 22 razas equinas mundiales, en las que se incluía el Tarpan y el Przewalski, confirmarían esta hipótesis.

En este árbol podemos observar dos grandes grupos perfectamente definidos. Uno de ellos formado por trece razas: Andaluza, Lusitana, Menorquina, Mallorca, Catalana, Asturcón, Gallego, Sorraia,

Garrano, Jaca Navarra, Pottoka, Jaca Soriana y Losino (grupo A), que se corresponderían con los descendientes del Tronco Tarpánico. El otro gran grupo, que se corresponde con los descendientes del Tronco Solutrensis, incluye cuatro razas: Aragonesa, Bretón Cerdà, Burguete y Bretón Empordanès (grupo B).

En el Tronco Tarpánico es posible, a su vez, diferenciar dos subgrupos: el A1, que se corresponde con los poneys ligeros, es decir, Asturcón, Gallego, Sorraia, Garrano, Jaca Navarra, Pottoka, Jaca Soriana y Losino, descendientes directos del *Equus gmelini*. Las otras cinco razas, Andaluza, Lusitana,

Figura 3. Arbol de consenso y porcentaje de replicaciones bootstrap obtenido a partir de los datos morfológicos utilizando el programa PAUP.

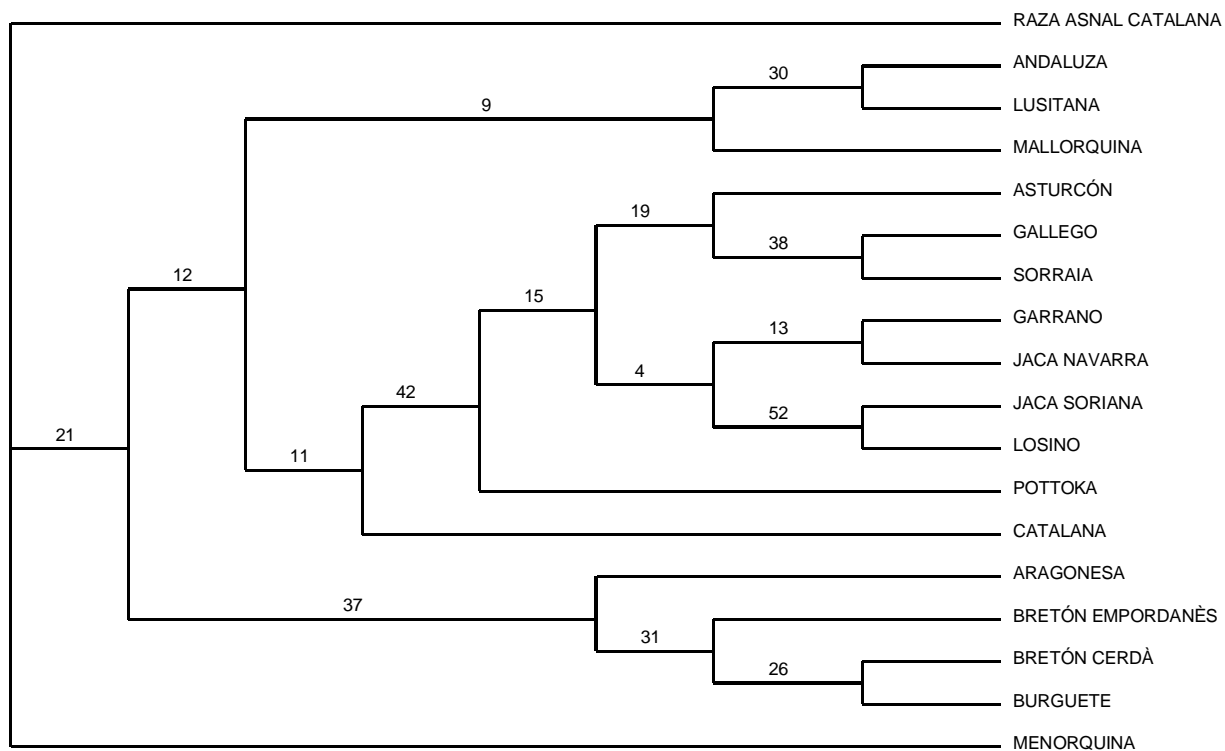


Figura 4. Caballo de raza Andaluza.



Figura 5. Caballo Breton.

Menorquina, Mallorquina y Catalana formarían el subgrupo A2, y se corresponderían con los representantes del *Equus przewalski*.

La figura 3 representa el árbol de consenso obtenido después de cien replicaciones *bootstrap*; los valores en el árbol indican el porcentaje de replicaciones obtenidas después del análisis, es decir, la amplitud del intervalo de confianza. Ambos dendrogramas, el más parsimonioso y el de consenso son muy similares, manteniéndose los tres grupos anteriormente descritos, con la excepción de la raza Menorquina, que forma una tricotomía no resuelta con la raza asnal Catalana y las demás razas equinas. No obstante, los bajos niveles de significación indicarían que existe poca confianza con esta ordenación.

Es sorprendente que los niveles de significación del análisis *bootstrap* obtenidos en este estudio sean substancialmente menores que los obtenidos por Jordana *et al.*

(1995). En los dos trabajos las diferentes razas se adscriben perfectamente en sus respectivos troncos ancestrales, confirmandose la estrecha relación existente entre los individuos de los troncos *Equus gmelini* y *Equus przewalski*, conformando el Tronco Tarpánico y confirmando la hipótesis de Sotillo y Serrano (1985) y Groves (1986); sin embargo, el nivel de confianza es substancialmente diferente. Creemos que esto puede ser debido, principalmente, a que el área geográfica de las 17 poblaciones analizadas en este estudio es muy restringida (España y Portugal), y por tanto, las posibilidades de migraciones génicas entre razas habrían sido mayores, en comparación con las otras razas de distribución mundial más amplia. Esto podría comportar una mayor homogeneidad en los caracteres morfológicos analizados, con lo cual la ordenación de las diferentes razas en sus respectivos troncos ancestrales tendría un menor nivel de confianza, indicándonos

Tabla 3. Matriz de distancias morfológicas (MCD) entre las razas equinas ibéricas.

Razas	AND	ARA	AST	BRE	BRC	BUR	CAT	GAL	GAR	JAN	JAS	LOS	LUS	MAL	MEN	POT	SOR
Andaluza (AND)	****																
Aragonesa (ARA)	0.50	****															
Asturcón (AST)	0.50	0.63	****														
Bretón Empordà (BRE)	0.61	0.48	0.63	****													
Bretón Cerdà (BRC)	0.54	0.50	0.61	0.37	****												
Burguete (BUR)	0.59	0.52	0.54	0.43	0.33	****											
Catalana (CAT)	0.57	0.67	0.57	0.59	0.59	0.59	****										
Gallego (GAL)	0.52	0.61	0.22	0.63	0.59	0.54	0.52	****									
Garrano (GAR)	0.54	0.70	0.37	0.61	0.50	0.46	0.50	0.37	****								
Jaca Navarra (JAN)	0.63	0.59	0.28	0.59	0.52	0.48	0.52	0.33	0.24	****							
Jaca Soriana (JAS)	0.52	0.61	0.39	0.61	0.52	0.54	0.61	0.43	0.30	0.33	****						
Losino (LOS)	0.54	0.57	0.26	0.61	0.57	0.52	0.50	0.33	0.30	0.33	0.24	****					
Lusitana (LUS)	0.33	0.59	0.59	0.67	0.57	0.61	0.41	0.61	0.54	0.57	0.57	0.54	****				
Mallorquina (MAL)	0.41	0.59	0.48	0.65	0.61	0.54	0.46	0.46	0.52	0.52	0.61	0.52	0.46	****			
Menorquina (MEN)	0.52	0.63	0.65	0.52	0.61	0.59	0.52	0.65	0.67	0.59	0.57	0.65	0.43	0.57	****		
Pottoka (POT)	0.48	0.59	0.22	0.59	0.52	0.54	0.41	0.28	0.33	0.28	0.39	0.24	0.48	0.50	0.70	****	
Sorraia (SOR)	0.54	0.74	0.37	0.67	0.63	0.70	0.61	0.35	0.39	0.43	0.46	0.48	0.54	0.63	0.65	0.41	****



Figura 6. Caballo de raza Gallega.

asimismo, que razas de diferentes troncos habrían podido intervenir en la formación y mejora de otras.

Análisis cuantitativo

Los valores de la distancia MCD entre las razas ibéricas de caballos se muestran en la tabla 3. El promedio de distancia entre razas toma un valor de $0,51 \pm 0,12$, con valores extremos de 0,22 entre los pares Asturcón-Gallego y Asturcón-Pottoka, y de 0,74 para el par Aragonesa-Sorraia.

Este valor medio de MCD entre las razas ibéricas fue ligeramente inferior al obtenido por Jordana *et al.* (1995) con 22 razas equinas mundiales ($MCD = 0,57 \pm 0,17$), aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas ($F = 2,12$; no significativa).

Cuando se analiza la variabilidad morfológica intragrupo, mediante el cálculo de los correspondientes MCDs, se obtienen los siguientes valores promedio para cada uno de los grupos: $MCD = 0,33 \pm 0,07$ para el

grupo A1 (*Equus gmelini*), $MCD = 0,47 \pm 0,08$ para el grupo A2 (*Equus przewalski*), y $MCD = 0,44 \pm 0,08$ para el grupo B (*Equus solutreensis*). El test de la F para contrastar la heterogeneidad de las medias mediante el método de Student-Newman-Keuls (SAS, 1989), indicó que únicamente existen diferencias significantes entre el grupo A1 y los otros dos, A2 y B ($F = 14,24$; $P < 0.001$). Este resultado indicaría que las razas descendientes de *Equus gmelini* (poneys ligeros) tendrían una mayor relación de semejanza morfológica que los representantes de los otros troncos ancestrales, corroborando la estrecha relación observada en el dendrograma de la figura 2 (bajos valores de distancia de rama e internodo, los cuales son proporcionales al número de cambios requeridos en el estado del carácter). El relativamente elevado valor (42%) del análisis *bootstrap* (Figure 3), cuando es comparado con los otros valores, también confirmaría este elevado nivel de semejanza morfológica.



Figura 7. Caballo de raza Jaca Navarra.

Los ligeros poneys ibéricos, que se localizan mayoritariamente en las regiones septentrionales de España y Portugal, y cuyos orígenes se remontan a los antiguos poneys celtas traídos a la Península Ibérica durante las sucesivas invasiones (Dévimeux, 1988; Santamarina *et al.*, 1992) habrían sufrido pocas introgresiones génicas de razas foráneas durante su formación y posterior evolución y mejora, lo cual redundaría en un mayor grado de parecido morfológico. En cambio, en las razas que conforman los grupos de los caballos de silla (grupo A2) y los de tiro (grupo B), la aportación génica de otras razas foráneas habría sido manifiesta, hipótesis apoyada por las informaciones históricas que se tienen al respecto, con lo que los valores MCD intragrupo serían superiores y estadísticamente significativos cuando se comparan con el grupo de los poneys.

Así, por ejemplo, en la formación y posterior evolución del caballo Andaluz, habrían influido sobre las primitivas poblaciones de caballos ibéricos, razas tales como el Berberisco y el Arabe, así como

poblaciones de caballos nórdicas y germánicas (Aparicio, 1960; Bongiani, 1987). En las otras razas ibéricas de silla, también habrían influido, principalmente, las razas Berberisca y Arabe, aunque en cada caso particular ha podido haber influencia de otras razas equinas mundiales, como, por ejemplo, en la raza Mallorquina, donde la influencia de caballos de la Italia Central y Meridional (raza Napolitana y caballos negros de la Corte Vaticana) ha sido importante (Dévimeux, 1988).

También en las razas de tiro (grupo B), la aportación génica foránea ha sido muy importante. Basta citar la referencia que sobre ellas hacen Sotillo y Serrano (1985), cuando señalan que España no poseía caballos de tiro hasta prácticamente el siglo pasado, en el que, sobre la base de yeguas de silla del norte de España actuaron, principalmente, razas pesadas francesas. Las principales influencias sobre el Bretón Empordanès y el Bretón Cerdà han sido debidas al Bretón Postier francés, aunque la población de Bretón Cerdà también ha recibido un cierto aporte genético de razas



Figura 8. Caballo de raza Menorquina.



Figura 9. Caballo Pottoka.



Figura 10. Caballo de raza Mallorquina.

tales como el Ardenés, Boloñés y Percherón (Parés y Vilaró, 1994). El caballo de Burguete se originó a partir del cruce entre sementales Bretón Postier y yeguas locales próximas a la Jaca Navarra y al Pottoka. En cuanto a la raza Aragonesa, el mayor aporte genético provino de la raza francesa Percherón, aunque otras razas tales como el Ardenés, Boloñés, Normando y Bretón también contribuyeron en su mejora (Sotillo and Serrano, 1985; Sierra, 1987). Por último, sólo comentar que en muchas de las razas europeas de tiro, y también en las españolas (*Equus solutreensis*), las razas Arabe y Andaluza (*Equus przewalski*), principalmente, han contribuido de forma notable en su mejora (Hartley, 1981; Baudoin, 1991), con lo que, lógicamente, la variabilidad morfológica intragrupo (medida como MCD) se vería aumentada.

Asimismo, la intensidad de selección (selección artificial) llevada a cabo sobre diferentes caracteres de interés (morfológicos, funcionales, etc.,) también habría sido substancialmente diferente para los tres

grupos, siendo casi nula para el grupo de los poneys (grupo A1) y de una importancia relativa para los representantes de las razas de silla y tiro (grupos A2 y B, respectivamente). Elevadas intensidades de selección para diferentes caracteres en las diferentes razas, podrían contribuir al incremento del grado de variabilidad morfológica entre las razas dentro del grupo (grupos A1 y B), y a reducir dicho nivel de variabilidad (mayor parecido morfológico) cuando las diferentes poblaciones (grupo de los poneys, A2) no se ven afectadas por la selección artificial de los caracteres en estudio.

Conclusiones

Como principales conclusiones de este estudio podemos señalar la confirmación, al menos desde el punto de vista morfológico, de la hipótesis propuesta por Sotillo y Serrano (1985) y Groves (1986), de que el caballo de Przewalski (*Equus przewalski*) podría ser la variante sud-oriental del Tarpán (*Equus*



Figura 11. Caballo Burguete.

gmelini), integrándose todos sus descendientes en el llamado Tronco Tarpánico, conclusión también expresada por Jordana *et al.* (1995); no obstante, debería ser verificada a través del análisis de marcadores moleculares. Asimismo, se comprueba que el grupo que forman los poneys ibéricos es morfológicamente muy semejante, a diferencia de lo que ocurre con las razas de silla y las de tiro, posiblemente debido a un mayor aislamiento genético, a una casi nula selección artificial para los caracteres morfológicos, y a una elevada movilidad de reproductores intra-grupo, conclusión que también tendría que ser contrastada a través del análisis de marcadores genéticos.

Agradecimientos

Los autores quieren mostrar su agradecimiento a los amigos y colegas que nos han ayudado en la recopilación del material gráfico para este manuscrito: Isidro Sierra (raza Aragonesa), Fernando Muñoz (razas Burguete y Menorquina), Luciano Sánchez (raza Gallega), Maria do Mar Oom (razas Garrano y Sorraia), Rui Morais (raza Lusitana; <http://www.cite.pt/fvhorses/>), Ricardo de Juana (raza Losino), Xavier Such (razas Jaca Navarra y Pottoka), y Centro Excursionista de Catalunya (raza Catalana). La raza Bretón Empordanès se obtuvo del libro "Els Concursos de Bestiar" (Rosell i Vilà, 1922). Las restantes fotos son propiedad de los autores.



Figura 12. Caballo Losino.

Referencias

Altarriba, J., Zarazaga, I. & Calavia, J. 1979. Primeros resultados obtenidos en la estimación de las relaciones filogenéticas existentes entre diez razas ovinas españolas, a partir de mediciones del esqueleto cefálico y del hueso caña. En IV Jornadas Científicas de la Sociedad Española de Ovinotecnia, Zaragoza, Junio 1979, Sociedad Española de Ovinotecnia, Zaragoza, España, 77-83.

Aparicio, G. 1960. Zootecnia Especial. Etnología Compendiada. Imprenta Moderna, Córdoba, España.

Aparicio, J.B., Castillo, J. & Herrera, M. 1986. Características Estructurales del Caballo Español. Tipo Andaluz. CSIC, Madrid, España.

Baudoin, N. 1991; Les Races de Chevaux et de Poneys en France. CEREOPA, Paris, France.

Behara, A.M.P., Colling, D.T., Cothran, E.G. & Gibson, J.P. 1998; Genetic relationships between horse breeds based on microsatellite data: applications for livestock conservation. In Proceedings of the 6th world congress on genetics applied to livestock production, Armidale, Australia, vol. 28, 119-126.

Bongianni, M. 1987; Guía de Caballos y Ponies. Grijalbo, Barcelona, España.

Bowcock, A.M., Ruiz-Linares, A., Tomfohrde, J., Minch, E., Kidd, R.J. & Cavalli-Sforza, L.L. 1994; High resolution of human evolutionary trees with polymorphic microsatellites. Nature 368, 455-457.

- Bowling, A.T. & Clark, R.S.** 1985. Blood group and protein polymorphism gene frequencies for seven breeds of horses in the United States. *Animal Blood Groups and Biochemical Genetics* 16, 93-108.
- Bruford, M.W. & Wayne, R.K.** 1993. Microsatellites and their application to population genetic studies. *Current Opinion in Genetics and Development* 3, 939-943.
- Cain, A.J. & Harrison, G.A.** 1958. An analysis of the taxonomist's judgement of affinity. *Proceedings of the Zoological Society of London* 131, 85-98.
- Dévimeux, T.H.** 1988. Les Equides en Espagne. CEREOPA, Paris, France.
- Donezar, J.** 1951. Caballos Navarros. En II Congreso Internacional Veterinario de Zootecnia, Madrid, España, 559-590.
- Efron, B.** 1979. Bootstrap methods: another look at the jackknife. *Annals of Statistics* 7, 1-26.
- Farris, J.S.** 1972. Estimating phylogenetic trees from distance matrices. *The American Naturalist* 106, 645-668.
- Felsenstein, J.** 1985. Confidence limits on phylogenies: an approach using the bootstrap. *Evolution* 39, 783-791.
- Ferreras, G.** 1935a. El caballo de Losa. En *Ganadería Vasca. Vol.I. Zootecnia. Estudio Etnológico y Biométrico de las Razas Mayores del País*. Grijelmo, Bilbao, España, 343-408.
- Ferreras, G.** 1935b. El caballo vasco. Su origen y relaciones con el caballo oriental y occidental. En *Ganadería Vasca. Vol.I. Zootecnia. Estudio Etnológico y Biométrico de las Razas Mayores del País*. Grijelmo, Bilbao, España, 51-199.
- Fitch, W.M.** 1971. Toward defining the course of evolution: minimal change for a specific tree topology. *Systematic Zoology* 20, 406-416.
- García-Dory, M.A.** 1980. Asturcón, caballo de los Astures. *Caja de Ahorros de Asturias, Oviedo, España*.
- Gil, I. & Martínez, J.** 1958. El caballo de Burguete. *Ganadería* 186, 598-601.
- Groves, C.P.** 1986. The Taxonomy, Distribution and Adaptations of Recent Equids. In *Equids in the Ancient World*. Dr. Ludwig Reichert Verlag, Wiesbaden, Germany, 11-65.
- Hartley, E.** 1981. *Enciclopedia del Caballo*. Editorial Blume, Barcelona, España.
- Hendy, M.D. & Penny, D.** 1982. Branch and bound algorithms to determine minimal evolutionary trees. *Mathematical Biosciences* 59, 277-290.
- Homedes, J.** 1967. Ganado vacuno, caballar, asnal y mular. Editorial Sintés, Barcelona, España.
- Iglesia, P.** 1983. La raza poney gallega: estado actual. En 34 Reunión Anual de la Federación Europea de Zootecnia. Madrid, España, (Resumen).
- Jordana, J., Piedrafita, J. & Sánchez, A.** 1992. Genetic relationships in Spanish dog breeds. I. The analysis of morphological characters. *Genetics Selection Evolution* 24, 225-244.
- Jordana, J., Ribó, O. & Pelegrín, M.** 1993. Analysis of genetic relationships from morphological characters in Spanish goat breeds. *Small Ruminant Research* 12, 301-314.
- Jordana, J., Parés, P.M. & Sánchez, A.** 1995. Analysis of genetic relationships in horse breeds. *Journal of Equine Veterinary Science* 7, 320-328.

- Jordana, J. & Folch, P.** 1996. The endangered Catalanian donkey breed: the main ancestor of the American ass or Mammoth. *Journal of Equine Veterinary Science* 10, 436-441.
- Lauvergne, J.J., Renieri, C. & Pieramati, C.** 1988. El scénario du peuplement caprin méditerranéen ancien. In *Populations traditionnelles et premières races standardisées d'Ovicaprinae dans le Bassin méditerranéen*. Coll.INRA N° 47, Manosque, 30 June - 2 July 1986, INRA, Paris, France, 253-265.
- Maguregi, B., Albizua, J.J. & Gómez, M.** 1992. Estudio de las Características Zoométricas y Fanerópticas del Poney Vasco (Pottoka). En *Com FIG Quinto Centenario*. Junta de Extremadura, Zafra, España, 4-9.
- Margush, T. & McMorris, F.R.** 1981. Consensus n-trees. *Bulletin of Mathematical Biology* 43, 239-244.
- Moyano, P.** 1908. Tratado de cría caballar, mular y asnal. Hijos de Cuesta, Madrid, España.
- Oom, M.M.** 1992. O cavalo Lusitano: Uma raça em recuperação. Doctoral Thesis. Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- Parés, P.M. & Parés, R.** 1991. Aportació a l'estudi del pèl en el cavall Hispano-Bretó de la Cerdanya. *Quaderns Agraris* 14, 5-15.
- Parés, P.M. & Vilaró, T.** 1994. La Ramaderia. *Quaderns de la Revista de Girona* 52, 66-67.
- Payeras, L. & Pons, P.A.** 1991. Races autòctones de Mallorca. Grupo Serra, Palma de Mallorca, España.
- Rognon, X., Bowling, A.T., Ricard, A., Ouragh, L. & Meriaux, J.C.** 1996. Phylogenetic relationships between French, Moroccan and American horse breeds. *Animal Genetics* S2, 35-36.
- Sánchez-Belda, A.** 1987. La raza caballar menorquina. *Ecuestre* 61, 20-24.
- Santamarina, G., Benedito, J.L., Goicoa, A., Hernández, J., Castillo, C., Fidalgo, E.L. & Sánchez, L.** 1992. Perfil hematológico del poney gallego: influencia de la edad. En *Com FIG Quinto Centenario*. Junta de Extremadura, Zafra, España, 10-14.
- SAS Institute Inc.** 1989. SAS User's Guide: Statistics/ version 6.1. Cary, North Carolina, USA.
- Sierra, I.** 1987. Razas Aragonesas de Ganado. Diputación General de Aragón, Zaragoza, España.
- Sneath, P.H.A. & Sokal, R.R.** 1973. *Numerical Taxonomy*. W.H. Freeman, San Francisco, USA.
- Sotillo, J.L. & Serrano, V.** 1985. *Producción Animal I. Etnología Zootécnica*. Tebar-Flores, Madrid, España.
- Swofford, D.L.** 1993. PAUP: Phylogenetic analysis using parsimony, version 3.1.1. Computer program distributed by the Illinois Natural History Survey, Champaign, Illinois, USA.
- Torres, E., Querol, J. & Bosch, E.** 1983. La raza Hispano-Bretona en la Cerdanya. En *34 Reunión Anual de la Federación Europea de Zootecnia*, Madrid, España, (Resumen).