

CARACTERIZACIÓN Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS
GENÉTICOS DE LA POBLACIÓN EQUINA DE CARNE
DEL PIRINEO CATALÁN (CAVALL PIRINENC
CATALÀ): INTERRELACIÓN CON OTRAS RAZAS
CÁRNICAS ESPAÑOLAS

John-Nelson Infante González



UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA

Departament de Ciència Animal i dels Aliments

Facultat de Veterinària

**Caracterización y gestión de los recursos genéticos de la
población equina de carne del Pirineo Catalán (Cavall
Pirinenc Català): interrelación con otras razas cárnicas
españolas**

John-Nelson Infante González

**TESIS DOCTORAL
Julio 2011**

El Dr. Jordi JORDANA Vidal, professor titular del Departament de Ciència Animal i dels Aliments, de la Facultat de Veterinària de la Universitat Autònoma de Barcelona,

i

la Dra. Ainhoa FERRANDO Lebraud, investigadora del Departament de Ciència Animal i dels Aliments, de la Facultat de Veterinària de la Universitat Autònoma de Barcelona,

CERTIFIQUEN:

Que el treball de recerca titulat "*Caracterización y gestión de los recursos genéticos de la población equina de carne del Pirineo Catalán (Cavall Pirinenc Català): interrelación con otras razas cárnicas españolas*", i presentat pel Sr. **John-Nelson INFANTE González** per optar al títol de Doctor per la Universitat Autònoma de Barcelona, ha estat realitzat sota la nostra direcció i, donant-lo per acabat, autoritzen la seva presentació per a que sigui jutjat per la comissió corresponent.

Aquest treball s'ha dut a terme al Departament de Ciència Animal i dels Aliments de la Universitat Autònoma de Barcelona.

I per a que així consti als efectes oportuns, signen aquest certificat a Bellaterra, a 17 de maig de 2011.



Dr. Jordi Jordana Vidal



Dra. Ainhoa Ferrando Lebraud

Aquesta Tesi Doctoral s'ha realitzat en el marc del conveni de col·laboració que la Universitat Autònoma de Barcelona manté amb el Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural (DAR) de la Generalitat de Catalunya, per a l'estudi i promoció de la població equina autòctona de carn dels Pirineus, i del projecte d'investigació RZ2004-00023 concedit pel *Instituto Nacional de Investigaciones Agroalimentarias* (INIA).

Als meus pares, el Nelson i la Lucy
Als meus segons pares l'Antonio i la Marta
Al Nando, el Jaime, la Chela i la Jara
I Per sempre a la Lorena

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Jordi Jordana i Vidal, el meu director, per haver-me donat l'oportunitat de realitzar aquest projecte.

A la Dra. Aïnhua Ferrando Lebraud, la meva codirectora, per haver dirigit aquesta tesi, guiat i il·lustrat.

Al Dr. Manel Ruiz-García i a la Dra. Diana Álvarez, per haver-me iniciat al món de la genètica de poblacions.

Als meus pares, el Nelson i la Lucy, per ensenyar-me els principals valors en aquest món.

Als meus segons pares, l' Antonio i la Marta, per haver-me acollit com un fill.

Per sempre a la Lorena, per haver estat la llum que va guiar la meva estada a Barcelona i una part de la meva vida.

Als meus companys de despatx, que més que companys són els meus amics, la Irene, la Carla, el Henry, el Yulixaxis, la Carola, la Queen, el Yan Bin, el Nilton.

Als meus amics de laboratori a Colòmbia, la María Eugenia, la Catalina, la Carolina, l' Andrea, la Magda i el Carlos, amb els quals afrontí el repte d'acabar la carrera.

I a Catalunya, per haver-me ensenyat que és l'amor, l'amistat, l'acolliment, la bellesa i un club.

RESUMEN

El Cavall Pirinenc Català (CPC) es una población equina, de orientación básicamente cárnica, ubicada en los Pirineos Catalanes. Las principales comarcas productoras son: Cerdanya, Pallars Sobirà, Ripollès, Val d'Aran, Pallars Jussà, Alta Ribagorça y Alt Urgell. A finales del año 2004, se iniciaron las actividades para realizar la caracterización estructural de las explotaciones, así como la caracterización morfológica y genética de esta población caballar con la finalidad de definir el estándar racial e instaurar un programa de conservación y mejora. El día 13 de diciembre de 2007, en una reunión mantenida en las dependencias del DAR (Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural - Generalitat de Catalunya) con la representación de todas las asociaciones, la Administración y la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), se aprobó su estándar oficial y el cambio de nombre de esta agrupación racial (Agrupació Hipermètrica Pirinenca), que a partir de ese momento pasó a denominarse "Cavall Pirinenc Català". De manera conjunta con la reglamentación, se publicó el Libro Genealógico el 30 de abril de 2008 en el Diario Oficial de la Generalitat de Catalunya (DOGC Núm. 5122). Una vez creada la FECAPI (Federació d'Associacions de Criadors de Cavall Pirinenc Català), publicado el estándar racial, abierto el Libro Genealógico de la raza, y tras realizar las valoraciones morfológicas correspondientes, quedaron inscritos en el Registro Fundacional del CPC, a enero de 2010, un total de 5047 reproductores adultos vivos (4555 yeguas y 492 sementales), propiedad de los 309 asociados a FECAPI.

El estudio realizado en el presente trabajo para la caracterización estructural de las explotaciones se realizó mediante una encuesta con 91 preguntas a 90 ganaderos escogidos al azar y de forma proporcional entre las siete comarcas donde se ubica la raza. Se calcularon diferentes estadísticos descriptivos y se obtuvieron las frecuencias porcentuales para las variables no paramétricas. Cuando se realizó este estudio, un total de 432 criadores explotaban un censo reproductor de 4513 animales (3976 yeguas y 537 sementales). Tres comarcas concentraron el 80% de criadores y censo: Cerdanya, Pallars Sobirà y Ripollès. La comarca de la Cerdanya sobresalió con casi el 40% del censo. La mayoría de explotaciones criaba únicamente CPC, por ser los más idóneos y mejor aclimatados a esa zona. La edad de los ganaderos fue elevada, el 46% superaba los 50 años de edad. El relevo generacional no está asegurado; el 80% de los ganaderos declaró no saber qué ocurriría con sus explotaciones tras su fallecimiento. La ganadería

era la actividad principal para el 63% de los encuestados, siendo para el resto una actividad económica secundaria. La mayoría de las explotaciones (63%) eran de tradición familiar y superaban los 25 años de antigüedad. El 70% de las explotaciones eran manejadas por el núcleo familiar. El sistema de producción fue totalmente extensivo. El 90% de los ganaderos mantenían sus caballos unos meses en la explotación y otros en la montaña. Los criadores utilizaban sólo la monta natural, siendo monta libre en el 95% de los casos. Los datos de producción fueron los siguientes: el 63% de los ganaderos destetaban a sus potros a los 6 meses, el 79% de las explotaciones realizaban el destete con un peso comprendido entre los 200 y los 250 kg. El 91% de los ganaderos vendían a tratantes por cabeza de ganado y sólo el 6% al carnicero directamente. Los potros fueron vendidos casi siempre al año de su nacimiento. El 97% de las explotaciones no estaban integradas en ningún sistema de tipo empresarial.

Para realizar el estudio morfométrico, se muestreó un total de 148 individuos adultos, de los cuales 128 eran hembras y 20 machos. Se tomaron para ello 30 medidas morfométricas mediante bastón zoométrico y cinta métrica. Se escogió un total de 17 índices zoométricos: 5 de interés etnológico, 6 de interés funcional de aptitud para el trabajo y otros 6 de interés funcional de aptitud cárnica. Se calcularon los siguientes parámetros a partir de los datos obtenidos: la media aritmética, la desviación típica, el error estándar de la media y el coeficiente de variación porcentual. De las 30 variables morfológicas, 21 presentaron diferencias significativas entre los dos sexos. Los bajos valores de los coeficientes de variación (C.V. <14,58) mostraron la gran homogeneidad morfológica del CPC. Los índices cárnica indicaron que la raza tiene una buena aptitud para la producción de carne. El 88% de los coeficientes de correlación de Pearson entre las variables zoométricas – calculados sólo para las hembras – fueron significativos, lo que refleja la gran armonía de esta población. Posteriormente, se efectuó un análisis discriminante canónico del total de variables zoométricas entre las poblaciones de hembras. La representación gráfica del análisis canónico de las siete poblaciones de hembras de CPC también resaltó la uniformidad entre los individuos de la población. Finalmente, se calculó la distancia de Mahalanobis entre comarcas para la subpoblación de hembras y se obtuvo un dendrograma de relación utilizando el programa MEGA2 mediante el algoritmo UPGMA, que tendió a agrupar entre ellas a las comarcas de mayor censo. Finalmente, los resultados obtenidos de la caracterización morfológica

indican que el CPC se puede catalogar como una raza de plástica sublongilínea, de formato subhipermétrico a hipermétrico y perfil fronto-nasal subconvexo.

La caracterización genética de la población se realizó a partir de muestras de pelo de 215 individuos de la población, y utilizando un panel de 16 marcadores microsatélite. Se detectó un total de 135 alelos (8,4 alelos por *locus*). La diversidad genética para el conjunto de la raza y dentro de cada comarca fue relativamente elevada ($H_E > 0,725$). Se detectó un ligero déficit de heterocigotos en cuatro comarcas: Val d'Aran (F_{IS} : 0,062; $p < 0,01$), Pallars Sobirà (F_{IS} : 0,050; $p < 0,01$), Ripollès (F_{IS} : 0,049; $p < 0,05$) y Alta Ribagorça (F_{IS} : 0,035; n.s.). Apenas se detectó diferenciación entre las siete subpoblaciones, con valores F_{ST} muy bajos (AMOVA F_{ST} : 0,01; n.s.). Estos resultados sugieren que, en su conjunto, la población tiene una variabilidad genética elevada, con una escasa estructuración poblacional y una baja consanguinidad. Se detectó mediante METAPOPOP que Pallars Sobirà fue la comarca que más contribuyó a la diversidad genética global, mientras que el Ripollès la que menos contribuyó. Sin embargo, la desaparición de cualquiera de ellas apenas modificaría la diversidad genética total. Por lo tanto, estos resultados indican que existe una gran uniformidad genética a nivel de la raza. Por otra parte, los análisis genéticos mostraron una estrecha relación entre CPC y las razas francesas Bretón y Comtois, hecho que concuerda con la relación histórica que mantiene la comarca de Cerdanya con la raza bretona. No obstante el Comtois mostró una leve tendencia de diferenciarse de las distintas comarcas del CPC para las dos topologías resueltas del árbol de relaciones genéticas (distancia D_A de Nei y distancia de Reynolds, con *neighbour-joining*).

Finalmente, se analizó una muestra representativa y aleatoria de la población para detectar individuos portadores del alelo 1368insC causante de la enfermedad genética recesiva Epidermólisis Bullosa (JEB). De los 205 individuos analizados (113 sementales y 92 yeguas), 8 resultaron ser portadores (4 machos y 4 hembras). La prevalencia media de portadores fue, por lo tanto, de casi el 4% (3,6% para machos y 4,3% para hembras). Los valores obtenidos para los sementales reproductores fueron más bajos que los reportados por otros autores en las razas Bretón y Comtois, con el 14 y el 8%, respectivamente.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	i
RESUMEN.....	v
ÍNDICE.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS, FIGURAS Y ANEXOS.....	xvii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. La formación de las razas.....	1
1.2. Sistemática y filogenia del caballo.....	4
1.3. La domesticación del caballo.....	6
1.4. Diversidad genética de los caballos.....	10
1.5. Los caballos de carne.....	14
1.5.1. El Cavall Pirinenc Català.....	17
1.5.2. Otras razas equinas de tipo pesado.....	23
1.5.2.1. La Jaca Navarra.....	23
1.5.2.2. El Hispano-Bretón.....	24
1.5.2.3. El Caballo de Burguete.....	24
1.5.2.4. El Bretón.....	25
1.5.2.5. El Comtois.....	25
1.6. Los recursos genéticos de los animales domésticos.....	26
1.6.1. Clasificación de las razas según el estado de riesgo.....	27
1.6.2. Conservación de poblaciones en peligro de extinción.....	29
1.6.2.1. Caracterización estructural de las explotaciones.....	30
1.6.2.2. Caracterización morfológica.....	31
1.6.2.2.1. Etnología zootécnica.....	32
1.6.2.3. Caracterización genética.....	33
1.6.2.3.1. Variabilidad genética.....	33
1.6.2.3.2. Estructura poblacional.....	36
1.6.2.3.3. Diferenciación genética.....	37
1.6.2.3.4. Priorización en la conservación de poblaciones.....	40
1.6.2.3.5. Marcadores moleculares.....	41
1.6.2.4. Enfermedades congénitas.....	45
1.6.2.4.1. La Epidermólisis Bullosa.....	45
2. OBJETIVOS.....	49
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	53

3.1. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS EXPLOTACIONES EQUINAS DEL CAVALL PIRINENC CATALÀ.....	55
3.1.1. Encuesta.....	55
3.1.2. Análisis estadísticos.....	56
3.2. CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DEL CAVALL PIRINENC CATALÀ.....	57
3.2.1. Material para la toma de medidas.....	57
3.2.2. Variables zoométricas.....	58
3.2.3. Índices zoométricos.....	63
3.2.3.1. Índices etnológicos o morfoestructurales.....	63
3.2.3.2. Índices morfofuncionales de aptitud trabajo.....	65
3.2.3.3. Índices morfofuncionales de aptitud cárnica.....	67
3.2.4. Análisis estadísticos.....	68
3.3. CARACTERIZACIÓN GENÉTICA DEL CAVALL PIRINENC CATALÀ.....	72
3.3.1. Material biológico.....	72
3.3.2. Extracción y amplificación del ADN nuclear.....	72
3.3.3. Análisis estadísticos para microsatélites.....	74
3.4. ANÁLISIS DE LA ENFERMEDAD HEREDITARIA JEB EN EL CPC.....	76
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	79
4.1. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS EXPLOTACIONES EQUINAS DEL CAVALL PIRINENC CATALÀ.....	79
4.1.1. Censo equino.....	79
4.1.2. Principales datos del criador.....	81
4.1.3. Manejo de los caballos.....	83
4.1.4. Manejo en la montaña.....	84
4.1.5. Manejo veterinario.....	85
4.1.6. La economía en las explotaciones.....	86
4.1.7. Comparación de la caracterización estructural con respecto a otras razas equinas cárnicas españolas.....	86
4.2. CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DEL CAVALL PIRINENC CATALÀ.....	87
4.2.1. Estadísticos descriptivos.....	87

4.2.2. Análisis de la varianza.....	90
4.2.2.1. Análisis de la varianza en las yeguas para el efecto comarca.....	90
4.2.2.2. Análisis de la varianza para el efecto de variación sexo.....	91
4.2.2.3. Análisis de la varianza de los índices corporales etnológicos y de apreciación de aptitudes para los efectos comarca y sexo.....	93
4.2.2.3.1. Índices etnológicos o morfoestructurales.....	96
4.2.2.3.2. Índices morfofuncionales de aptitud trabajo.....	97
4.2.2.3.3. Índices morfofuncionales de aptitud cárnica.....	99
4.2.2.4. Análisis de correlación para las variables morfológicas.....	101
4.2.2.5. Análisis de la distancia de Mahalanobis.....	107
4.2.3. Comparación de la caracterización morfológica del CPC con respecto a otras razas equinas cárnica españolas.....	108
4.3. CARACTERIZACIÓN GENÉTICA DEL CAVALL PIRINENC CATALÀ.....	112
4.3.1. Estimación de parámetros indicativos de la variabilidad genética dentro de la raza.....	113
4.3.2. Relaciones genéticas del CPC con otras razas equinas de tipo pesado.....	121
4.3.2.1. Asignación de individuos a <i>clusters</i> (poblaciones).....	121
4.3.2.2. Estima de las distancias genéticas entre las subpoblaciones del CPC y algunas razas pesadas francesas.....	122
4.3.2.3. Relaciones genéticas entre el CPC y algunas razas pesadas francesas.....	123
4.3.2.4. Relaciones genéticas del CPC con otras razas equinas cárnica españolas.....	125
4.3.2.5. Relaciones genéticas del CPC con otras razas equinas cárnica españolas a partir del ADN mitocondrial.....	127
4.4. PREVALENCIA DE PORTADORES DE LA ENFERMEDAD EPIDERMÓLISIS BULLOSA (JEB) EN EL CAVALL PIRINENC CATALÀ.....	128
5. DISCUSIÓN GENERAL.....	133
5.1. Algunos apuntes personales en cuanto al concepto y reconocimiento de raza.....	133
5.2. Proceso de reconocimiento del CPC como raza.....	134

5.3. Importancia del CPC en el sector ganadero equino en los Pirineos	
Catalanes.....	135
5.4. El cambio de utilidad en el CPC, de caballo de tiro a caballo de carne.....	136
5.5. Otras utilidades para el CPC.....	137
5.6. Proyección futura de la raza.....	137
5.7. Fomento del CPC.....	139
5.8. Aspectos morfológicos para el CPC.....	141
5.9. Caracteres productivos en el CPC.....	143
5.10. Aspectos genético-poblacionales en el CPC.....	145
5.11. Finalizando.....	147
6. CONCLUSIONES.....	151
7. REFERENCIAS.....	155
8. ANEXOS.....	171

TABLAS, FIGURAS Y ANEXOS

TABLAS

Tabla 1. Índices de diversidad genética para diferentes razas del mundo.....	13
Tabla 2. Asociados a FECAPI (distribuidos en las 6 asociaciones comarcales) y reproductores adultos (yeguas y sementales) inscritos en el Registro Fundacional del Libro Genealógico	23
Tabla 3. Microsatélites seleccionados para los estudios de caracterización genética en el CPC.....	73
Tabla 4. Censo por comarcas y total, y número de explotaciones para caballos de carne y silla en los Pirineos catalanes.....	79
Tabla 5. Número de explotaciones y censo total por razas equinas cárnicas españolas.....	87
Tabla 6. Análisis de la varianza para el efecto comarca para los valores de las medidas morfométricas tomadas en la población y subpoblaciones (comarcas) de hembras.....	88
Tabla 7. Análisis de la varianza para el efecto sexo y valores de las medidas morfométricas para ambas poblaciones (machos y hembras) del CPC.....	89
Tabla 8. Análisis de la varianza para el efecto comarca de los índices corporales para el conjunto de hembras en general y para las 7 comarcas.....	94
Tabla 9. Análisis de la varianza para el efecto sexo de los índices corporales en las dos subpoblaciones (hembras y machos) de CPC.....	95
Tabla 10. Valores de correlación según la metodología de Pearson para las distintas variables morfológicas para la subpoblación de hembras del CPC.....	102
Tabla 11. Valores de la distancia de Mahalanobis y su correspondiente significación estadística de la subpoblación de hembras de CPC de las diferentes comarcas.....	107
Tabla 12. Valores de la distancia de Mahalanobis para diferentes razas cárnicas españolas.....	109
Tabla 13. Porcentaje de asignación correcta a raza para yeguas y machos de las diferentes razas cárnicas.....	110
Tabla 14. Valores para los índices zoométricos para las diferentes razas cárnicas españolas.....	111
Tabla 15. Parámetros de diversidad genética de la raza CPC.....	112
Tabla 16. Parámetros de diversidad genética para cada comarca y para el conjunto de la raza CPC.....	112
Tabla 17. <i>F</i> -estadísticos de Wright (1969) según los estimadores <i>f</i> , <i>F</i> y θ de Weir & Cockerham (1984) para el CPC.....	117

Tabla 18. Valores para el estadístico θ ($\approx F_{ST}$) entre las subpoblaciones (comarcas) del CPC.....	117
Tabla 19. Contribución de cada subpoblación (comarcas) a la diversidad total (GD _T).....	119
Tabla 20. Diversidad genética total al remover la subpoblación <i>i</i> (GD _{T<i>i</i>}) y pérdida (-) o ganancia (+) de diversidad al remover cada subpoblación (en %).	120
Tabla 21. Contribución de cada subpoblación (comarca) en % a un acervo único con la máxima diversidad genética (GD _{POOL}).	121
Tabla 22. Valores de las distancias genéticas de Reynolds y D _A de Nei.....	123
Tabla 23. Probabilidad de asignación de los individuos de las distintas razas equinas cárnicas españolas.....	126
Tabla 24. Parámetros de variabilidad en el ADN mitocondrial en las razas equinas españolas de aptitud cárnica.....	127
Tabla 25. Número de individuos analizados y de portadores (heterocigotos) para la mutación 1368insC según la comarca de origen y el sexo, en la raza CPC.....	130

FIGURAS

Figura 1. El Cavall Pirinenc Català (CPC).....	18
Figura 2. Localización geográfica del campo de estudio.....	54
Figura 3. Bastón zoométrico.....	58
Figura 4. Parámetros biométricos analizados en el CPC.....	59
Figura 5. Detalle de la parte frontal del caballo.....	60
Figura 6. Detalle de la parte posterior del caballo.....	61
Figura 7. Detalle frontal de la cabeza.....	62
Figura 8. Detalle lateral de la cabeza.....	62
Figura 9. Dendrograma generado aplicando el método del análisis de <i>clusters</i> , mediante el algoritmo UPGMA, para las diferentes variables morfológicas en la población de hembras de CPC	105
Figura 10. Gráfica del análisis canónico para las 128 hembras de CPC.....	106
Figura 11. Gráfica del análisis canónico para las hembras de CPC de las 7 comarcas.....	106
Figura 12. Dendrograma obtenido a partir de la distancia de Mahalanobis, y desarrollado mediante el algoritmo UPGMA.....	108

Figura 13. Dendograma obtenido a partir de la distancia de Mahalanobis para representar las supuestas relaciones existentes entre los sementales de las diferentes razas cárnicas españolas.....	109
Figura 14. Dendograma obtenido a partir de la distancia de Mahalanobis para representar las supuestas relaciones existentes entre las yeguas de las diferentes razas cárnicas españolas.....	109
Figura 15. Análisis discriminante de los sementales para las diferentes razas cárnicas españolas.....	110
Figura 16. Análisis discriminante de las yeguas para las diferentes razas cárnicas españolas.....	110
Figura 17. Representación gráfica de la asignación de individuos con una K de 2....	122
Figura 18. Dendrograma obtenido por el método de agrupamiento <i>neighbour-joining</i> a partir de la matriz de distancias genéticas D_A de Nei (1983).....	124
Figura 19. Dendrograma obtenido por el método de agrupamiento <i>neighbour-joining</i> a partir de la matriz de distancias genéticas de Reynolds.....	125
Figura 20. a) Árbol obtenido por el método de agrupamiento <i>neighbour-joining</i> a partir de la matriz de distancias genéticas de Reynolds. b) Representación espacial en el análisis factorial de correspondencias (AFC) en tres dimensiones de los individuos pertenecientes a las 4 poblaciones equinas cárnicas españolas.	126
Figura 21. Genotipos para dos muestras del Cavall Pirinenc Català para la detección de la mutación 1368insC.....	130

ANEXOS

Anexo 1. Prototipo racial del CPC.....	171
Anexo 2. Diario Oficial de la Generalitat de Catalunya (DOGC) Núm. 5122-30.4.2008.....	173
Anexo 3. Protocolo de la FAO para la conservación de poblaciones en peligro de extinción.....	179
Anexo 4. Formato de encuesta realizada a los criadores del CPC.....	182
Anexo 5. Frecuencias alélicas para los 16 marcadores utilizados.....	192
Anexo 6. Alelos privados y su respectiva frecuencia para cada comarca por microsatélite y para el total de la raza.....	200
Anexo 7. $f \approx F_{IS}$: para cada comarca por marcador.....	200
Anexo 8. Valores presentados del valor del Ln P(D) para cada población K.....	201

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1. La formación de las razas

La raza es, según diferentes definiciones, un proceso biológico o un artificio del hombre. Aunque no se especifica cuál debe ser el origen de una raza, se pueden distinguir dos períodos en su proceso de formación, uno previo a su constitución desde el punto de vista zootécnico, y otro posterior en el que ya existe un reconocimiento administrativo, oficial y técnico. Así, dentro de este transcurso histórico, según Denis (1982), las razas pasan por ser subespecies geográficas (previas a la domesticación), razas primitivas (con limitada intervención del hombre), razas naturales (etapa de transición a las actuales) hasta llegar a las razas actuales (intensa intervención humana pero conservando el carácter regional), e inclusive, razas mejoradas (con proyección internacional). Cabe recordar que para que se dé cualquier tipo de evolución tiene que haber variación de los caracteres. Esta variación debe introducir modificaciones en la eficacia, tanto biológica como reproductiva, y asimismo, las características en cuestión deben ser heredables. Según Rodero y Herrera (2000), la etnología no sólo contempla el estudio de las razas desde una perspectiva de caracterización racial, sino que además, asume un componente histórico fundamental, y por lo tanto, dicho factor ha de entrar de lleno en el estudio del proceso de formación de las razas.

De las definiciones de raza dadas por diferentes autores (González 1903; Kronacher 1937; Aparicio 1956; Alderson 1974; Turton 1974; Cavalli-Sforza 2000) se puede decir que la catalogación de una población animal como raza debe reunir al menos tres requisitos: homogeneidad morfológica entre sus integrantes, diferenciación de éstos respecto a grupos cercanos, y perpetuación de estas características diferenciadas a través de la descendencia. De entre todas las definiciones surgidas a lo largo del tiempo, quizás la correspondiente a Orozco (1985), sea una de las más adecuadas con respecto a la existencia de las razas: *"nadie puede impedirle a un ganadero, a un técnico o a cualquier persona que tenga acceso a un conjunto de animales definir una población concreta como raza. Si para ello se basa en unas características determinadas, objetivas, uniformes y distintas a las de otras poblaciones, puede hablar, si quiere, de una nueva raza. La raza es simplemente estar de acuerdo con unas características concretas y muy exigentes, perfección en color, tipo, porte, medidas de diferentes partes del cuerpo bien determinadas, etc. Y si la raza está definida así, no hay ninguna objeción que hacer. La raza, consciente o inconscientemente, ha sido hecha por el*

hombre, aunque con la intervención del medio actuando a través de la selección natural”.

Desde un punto de vista de clasificación taxonómica, una raza queda encuadrada en un orden jerárquico, entre la especie, en lo más alto, y las subrazas, variedades y estirpes en lo más bajo, y en definitiva, podría definirse de la siguiente manera: *“Las razas son poblaciones que se distinguen por un conjunto de caracteres visibles exteriormente (morfológicos, biométricos y funcionales), que están determinados genéticamente y que se han diferenciado de otras de la misma especie a lo largo del proceso histórico, teniendo en cuenta que se han originado y localizado en un área determinada con un ambiente común”* (Rodero & Herrera 2000). Más adelante Herrera (2002) añade que una Agrupación Racial es: *“grupo de animales domésticos con uniformidad de caracteres visibles, pero de homogeneidad no demostrada científicamente”.*

Particularizando en los caballos, y en el contexto moderno y de forma resumida, referimos a los individuos de una determinada raza como aquellos equinos inscritos en el registro o Libro Genealógico de la misma. Éstos son los que se han criado selectivamente durante un período de tiempo suficientemente prolongado como para asegurar que la descendencia comparta unas características comunes definidas con respecto a su alzada, conformación, movimientos, color de capa, etc.

Otra división que se establece para diferenciar las razas en el caballo, que además suele ser fuente de confusión, es la que se marca entre la clase “de sangre”, y que hace referencia a sus temperamentos. La clasificación, según Kresse (2001), sería la siguiente:

“Sangre Caliente” es el término que describe a la clase de caballos con temperamento alerta y nervioso, como los mostrados por las razas Árabe, Berberisco o Pura Sangre Inglés.

“Sangre Fría” sería la denominación genérica de las razas de caballos con temperamento muy tranquilo, como lo suelen ser las razas europeas de tipo pesado, descendientes del primitivo caballo del bosque o caballo de Solutré (Jordana 2005).

“Sangre Templada” es el nombre genérico del resultado del cruce entre un caballo de sangre fría con otro de sangre caliente, obteniendo de los primeros su docilidad y tranquilidad y de los segundos su agilidad y ligereza. Este tipo de caballo también es conocido como “Warmblood”.

En la especie equina moderna, la principal división que se establece para la clasificación de los caballos es la que distingue entre el caballo de tipo ligero (de montura o enganche; con pesos inferiores a los 650 kg) y el de tipo pesado (caballos de tiro; con pesos superiores a los 650 kg). Además, la clasificación, arbitraria, del tipo de uso denomina aquellos caballos que no se clasifican dentro del estatus de una raza porque no tienen la suficiente calificación morfológica, o debido a que sus progenitores no están oficialmente inscritos en el libro genealógico.

Los caballos de monta (salto, carreras, paseo, etc.) aportan, desde luego, el mayor número de razas e individuos. Debemos señalar, además, que existe una subdivisión que distingue entre caballos y ponis. La diferencia que generalmente se establece entre ellos está en la alzada (distancia desde la cruz hasta el suelo). Los ponis se consideran, quizás arbitrariamente, razas y tipos de caballos con una alzada menor a 1,52 metros, cuando en realidad, la diferencia entre caballos y ponis estriba primordialmente en la proporción. Por ejemplo, en el Pura Sangre Inglés, la distancia desde la cruz hasta el suelo excede la longitud de su cuerpo, debido, en gran parte, a la longitud de sus extremidades. Por el contrario, el poni presenta más profundidad de tronco y las extremidades más cortas en relación a su alzada (Aparicio 1956).

Aún, hoy en día, continúa vigente la discusión sobre el concepto de raza y su trascendencia. Citando una de las conclusiones sobre este tema, de la Declaración de Interlaken (2007), podemos apuntar que: *“Las razas son conceptos culturales más que entidades físicas, y el concepto varía de un país a otro. Para que sea posible llevar a cabo una ordenación sostenible, es necesario considerar y comprender la diversidad en los ámbitos de la especie, entre las razas y dentro de las mismas razas. En los 12000 años transcurridos desde la primera domesticación, se han desarrollado más de 7000 razas de animales domésticos. Estas razas representan ahora combinaciones únicas de genes. Por tanto, todos los recursos zoogenéticos son el resultado de la intervención*

humana, y estos recursos, a diferencia de la biodiversidad salvaje, requieren una gestión permanente y activa”.

1.2. Sistemática y filogenia del caballo

En su libro “*Fossil Horses: Systematics, Paleobiology, and Evolution of the Family Equidae*”, MacFadden (1992) resume así: el primer antepasado conocido del caballo, el *Eohippus* (también llamado *Hyracotherium*), vivió en los tiempos del período Eoceno, hace aproximadamente cincuenta millones de años, y por los restos fósiles encontrados en la zona oeste de los Estados Unidos de América se sabe que se trataba de un animal de apenas 35 cm de alzada con una morfología parecida a la del pécari actual (*Tayassu* spp.). Las extremidades anteriores presentaban cuatro dedos y las posteriores tres con un primitivo dedo accesorio, y su mandíbula estaba adaptada a la alimentación herbívora. Hacia finales del Eoceno (hace 38 millones de años), esta primitiva forma equina evolucionó, diferenciándose en dos grupos cuyos restos han sido localizados en dos entornos diferentes. Por un lado, el *Orohippus*, género fósil de Norteamérica, y el *Paleotherium* hallado en Europa, que desaparece en la línea evolutiva sin que se puedan hallar sus teóricos descendientes. Estos animales (*Orohippus* y *Paleotherium*) poseían una alzada mayor, semejante a la de un jabalí, y poseían cuatro dedos en las extremidades anteriores y tres en las posteriores. El siguiente eslabón en la escala evolutiva corresponde al *Mesohippus*, de la talla de una cabra, con sólo tres dedos en cada extremidad, el del medio más desarrollado que los laterales, y los molares primeros tendientes a desaparecer. Su desarrollo corresponde al período del Oligoceno, hace 36 a 25 millones de años, con restos profusamente encontrados en los estados de Dakota y Nebraska. Los descendientes del *Mesohippus* se diversificaron durante el Mioceno, y es posible encontrarlos tanto en América (*Miohippus*) como en Europa (*Anchitherium*), aunque este último desapareció. En el *Miohippus*, los dedos laterales no tocaban el suelo y la superficie de frote de las muelas fue invadida por un cemento similar al de los équidos actuales. A partir de este momento todo el desarrollo evolutivo se realizaría en llanuras y praderas, con un abandono definitivo del hábitat boscoso. Al *Miohippus* siguió el *Merychippus* con más de veinte especies diferentes que vivieron en los estados de Oregón, Montana, California, Texas y Florida. Los fósiles encontrados hacen suponer que eran animales de la talla de un poni, ágiles, muy aptos para correr, y con una alimentación basada en los pastos de gramíneas. Algunas de las especies del *Merychippus* evolucionaron al finalizar la Era Terciaria, por un lado a géneros como el

Hipparium y el *Mennipus*, que migraron hacia zonas de Asia y Europa y terminaron por desaparecer, y por otro lado al *Pliohippus*, con muelas muy semejantes a las de los équidos actuales y con un solo dedo en cada extremidad, pero con rasgos craneales y detalles osteológicos de las extremidades diferentes a los del caballo actual. Algunos naturalistas consideran que el género *Plasihippus*, cuyos fósiles se han descubierto en Texas, Idaho y California, podría ser el eslabón entre el género *Equus* actual y el *Pliohippus*. Al llegar el Plioceno, hace 5 millones de años, sólo quedaba el género *Equus* en América del Norte, representado por especies parecidas a los caballos, hemiones, asnos y cebras, pero al llegar el Pleistoceno, y concretamente tras la cuarta glaciación (Würm o Wisconsin), desaparecieron todos los representantes de este género de América del Norte. Sin embargo, el género se había ido extendiendo hacia otras regiones. Desde Alaska, por el istmo de Bering, pasó a Asia y desde allí a Europa y África, y también a América del Sur, aunque en este último caso también terminó por desaparecer (Checa 2004). Grandes manadas de caballos salvajes eran comunes en las amplias planicies de Europa, Asia y Norteamérica (Clutton-Brock 1999, Kavar & Dovč 2008). Además, se han encontrado evidencias de la existencia de éstos en el Norte de África (Bagtache *et al.* 1984; Kavar & Dovč 2008). Hacia el final de la última era glacial, el rango de todos los caballos salvajes se redujo considerablemente (Clutton-Brock 1999; Kavar & Dovč 2008). En Norte América, debido al cambio climático/vegetal, los caballos sufrieron una rápida disminución del tamaño corporal y se extinguieron alrededor del 10500 a.C. (Guthrie 2003; Kavar & Dovč 2008). Si los humanos jugaron algún rol durante ese proceso de extinción, ocurriría en la cúspide de otros cambios ecológicos (Guthrie 2006; Kavar & Dovč 2008). En Eurasia, se cree que sólo dos subespecies de caballos salvajes sobrevivieron: el Tarpán (*Equus ferus ferus*) y el Caballo de Przewalski (*Equus przewalskii*) (Groves 1986). El Tarpán se extinguió en Polonia en 1918 o 1919 (Olsen 2006) y el Caballo de Przewalski podría haberse extinguido hoy si no fuese por la captura de un pequeño número de animales en los inicios del siglo XX, que fueron llevados a Europa, donde se han reproducido en zoológicos y en parques de vida salvaje (Clutton-Brock 1999; Kavar & Dovč 2008). El cariotipo de los Caballos de Przewalski (2n=66) y del caballo doméstico (2n=64) difieren por una translocación Robertsoniana (ECA 5=EPR23 + EPR24); la dirección de evolución (fusión o fisión) aún no puede ser concluida (Benirschke *et al.* 1965; Ryder *et al.* 1978; Ahrens & Stranzinger 2005; Kavar & Dovč 2008). Los híbridos (2n=65) inesperadamente son fértiles. Los Caballos de Przewalski son considerados grupos

hermanos de los progenitores de los caballos domésticos, principalmente por las similitudes cromosómicas, a diferencia de las cebras, que se diferencian por numerosas translocaciones, fusiones e inversiones (Yang *et al.* 2003; Lau *et al.* 2009). Los caballos de Przewalski son bien conocidos por tener el número diploide más alto entre todas las especies equinas (Ryder *et al.* 1978). Morfológicamente, los cráneos de estas dos especies (*Equus caballus* y *Equus przewalskii*) se solapan en sus mediciones (Forsten 1987; Eisenmann & Baylac 2000), aunque existen diferencias en otros caracteres del esqueleto (Sasaki *et al.* 1999). Siempre se ha aceptado que el caballo de Przewalski es un taxón hermano del caballo doméstico, pero según Lau *et al.* (2009), el Caballo de Przewalski no forma un grupo monofilético separado, debido al constante flujo genético, mediante cruces (o introgresión) que se realizaron cuando se buscaban fórmulas de conservación para disminuir el riesgo de extinción al que se enfrentaba el caballo de Przewalski.

Estudios recientes cuestionan la gran diversidad de especies, incluida la familia Equidae, que se ha determinado a lo largo de la evolución dictaminada en el registro fósil. Según Orlando *et al.* (2009), se ha subestimado lo mucho que puede variar una misma especie a lo largo del tiempo y según la zona geográfica en que vivan sus distintas poblaciones, lo que ha llevado a asumir erróneamente una diversidad mayor a la real entre las especies extintas de la megafauna. Un ejemplo es el estudio de huesos de équidos encontrados en cuevas de Eurasia y Sudamérica que habían sido clasificados como especies separadas a las ya clasificadas, y donde los análisis demuestran que son variantes de especies ya reconocidas. Al igual que una especie de cebra gigante extinta de Sudáfrica, que no sería más que una variante más corpulenta de la moderna cebra de llanura. Dicha cebra podía pesar hasta unos 400 kg y medir unos 150 cm hasta los omóplatos. También se detectó una nueva especie de burro en las llanuras rusas, que parece estar relacionada con los fósiles europeos que datan de más de 1,5 millones de años. Las dataciones por Carbono 14 de los huesos revelaron que esta especie vivió hasta hace tan sólo 50000 años (Orlando *et al.* 2009).

1.3. La domesticación del caballo

La transformación de animales salvajes en domésticos fue prerequisite clave para el desarrollo de las modernas sociedades humanas (Ludwig *et al.* 2009). Una gran variedad de especies han sido domesticadas, pero ninguna ha tenido tal impacto en la

guerra, el transporte y la comunicación como el caballo. A pesar de la importancia que tuvo en la expansión de la cultura Indo-europea, y más aún en la historia humana, el momento y lugar de origen de su domesticación ha sido un enigma durante mucho tiempo (Kavar & Dovč 2008; Ludwig *et al.* 2009). Recientemente, se han encontrado evidencias de que dicha domesticación debió iniciarse en las estepas de Eurasia hacia el quinto milenio antes del presente (Kavar & Dovč 2008; Ludwig *et al.* 2009). Sin embargo, otros autores (Outram *et al.* 2009) apuntan a la región del Kazakhstan, hace 5500 años, y específicamente a la cultura Botai. Al parecer, los Botai utilizaban en un principio sus manadas equinas con fines alimenticios: consumían su carne y su leche (Outram *et al.* 2009). Sería más adelante cuando aprovecharían otras aptitudes: tiro de cargas pesadas (carreta, arado, féretro, etc.), y más importante, lo domarían para poder cabalgar, momento de vital importancia en la historia de la humanidad (Levine 2005; Kavar & Dovč 2008; Outram *et al.* 2009).

Dos modelos de domesticación han sido propuestos por Clutton-Brock (1999). En el Modelo I, el stock salvaje, a partir del cual todos los caballos domésticos fueron criados, vivía en las planicies del sur de Rusia, desde Ucrania hasta la región de Turquestán. La temprana domesticación del caballo se dispersó desde esta zona, y todos los diferentes tipos y razas conocidos actualmente se desarrollaron como resultado de una selección artificial en combinación con la selección natural hacia la adaptación a ambientes locales condicionados. El Modelo II (o modelo alternativo) está basado en la posible existencia de una clina geográfica de la población de caballos salvajes: aquéllos de un rango septentrional llegarían a ser más pequeños y robustos a los encontrados en el sur. La razón para creer esto es que incluso en los hallazgos más recientes de caballos domésticos existen diferencias considerables en tamaño y proporciones de los huesos de las diferentes regiones.

La primera publicación referente a la domesticación del caballo, en base a datos genéticos, propone un modelo intermedio de domesticación (Lister *et al.* 1998). Los caballos domésticos surgirían a partir de un stock salvaje distribuido sobre una extensa región geográfica que contendría ya una considerable diversidad haplotípica mitocondrial preexistente, confirmando luego los múltiples orígenes maternos (Vilá *et al.* 2001; Jansen *et al.* 2002; Royo *et al.* 2005). Este modelo apoya la propuesta de Levine (2006), el cual asume una incorporación de caballos salvajes desde diferentes

poblaciones hasta hace unos pocos milenios. Estudios recientes proponen que la distribución natural de los caballos en el Holoceno era muy amplia, particularmente en el oeste y centro de Europa (Levine 2005). Los caballos son animales muy móviles, así que la tasa de migración esperada debería ser alta. Haplotipos idénticos mitocondriales fueron encontrados en dos poblaciones salvajes del Pleistoceno tardío, uno de Alemania y el otro de Siberia, demostrando las largas migraciones que tuvieron lugar. Además, pueden encontrarse también evidencias de largas migraciones posteriores al proceso de domesticación en numerosos documentos históricos (Lindgren *et al.* 2004). Recientemente, se ha descubierto que haplotipos mitocondriales de caballos modernos de origen ibérico ya estaban presentes en caballos salvajes del Neolítico ibérico y la Edad de Bronce, hace unos 6200 años. Esto indica la posibilidad de un episodio de domesticación completamente independiente, o el uso de linajes maternos ibéricos en un proceso de reposición de animales, en curso de domesticación, a partir de los salvajes (Lira *et al.* 2010).

Se observa que los haplotipos más frecuentes en los caballos domésticos modernos son los habituales en la fase temprana de la domesticación (Jansen *et al.* 2002). Por consiguiente, se asumiría que los haplotipos comunes en los caballos domésticos modernos ya existían en la primera población de hembras domesticadas (hembras fundadoras). Esto no significa que hembras con diferentes haplotipos no fueran domesticadas. Muchas líneas maternas se extinguirían, debido a la deriva genética aleatoria y a la selección (natural o artificial). La diversidad haplotípica observada del ADN mitocondrial (matrilíneo) en caballos domésticos primitivos es más alta (hasta el 7%) que en los caballos domésticos existentes (hasta el 3,5%).

Una gran cantidad de muestras de caballos silvestres (*E. przewalskii*) han sido secuenciadas junto a otras de caballos (*E. caballus*) del Pleistoceno tardío (Oakenfull & Ryder 1998; Kim *et al.* 1999). Algunos haplotipos mitocondriales de los caballos del Pleistoceno, europeos y siberianos, eran muy similares a los de los caballos domésticos modernos, incluso muy similares a los haplotipos del caballo de Przewalski. Se ha documentado que los caballos de Norte América no sobrevivieron al proceso de domesticación, dado que no se encontraron haplotipos comunes con los caballos domésticos actuales. Estos resultados apoyan la hipótesis que argumenta que las poblaciones americanas de caballos silvestres no evolucionaron hacia caballos

domésticos, pues éstas se habían extinguido ya antes de que el proceso de domesticación se iniciase (Guthrie 2006).

La diversidad mitocondrial total de los caballos del Plioceno, los domésticos y los silvestres, en conjunto, es más alta que la diversidad mitocondrial de los caballos domésticos modernos (hasta 7,8%). Esto muestra que muchas líneas no sobrevivieron a los dos principales cuellos de botella: el primero se produjo coincidiendo con una extinción en masa de los grandes mamíferos en el año 8000 a.C. (debido a drásticos cambios climáticos y a la caza desmesurada, reportados por MacFadden [1992] y Clutton-Brock [1999]), y el segundo fue durante el mismo proceso de domesticación, el cual tuvo lugar hace unos 5500 años. Sólo los haplotipos (y sus derivados) que sobrevivieron a ambos cuellos de botella pueden encontrarse en los caballos domésticos actuales (Kavar *et al.* 2002).

Kavar & Dovč (2008) argumentan que todos los caballos domésticos pueden ser rastreados atrás en el tiempo a un único semental fundador, o a unos pocos estrechamente relacionados. De tal manera, una diversidad patrilineal baja y matrilineal alta deben proponer que el proceso de domesticación del caballo comenzó cuando el “macho apropiado” fue encontrado u obtenido por selección. Quizá tuviese características especiales inusuales con el cual se podría acelerar este proceso. Durante el Eneolítico, las yeguas amansadas (y salvajes) habrían sido dispersadas probablemente por toda Eurasia, aunque el número de animales era probablemente muy bajo y las poblaciones estaban limitadas a áreas restringidas (como centros de amansamiento). Durante el proceso de domesticación, las yeguas (mansas o salvajes) de diferentes regiones fueron cruzadas con sementales en busca de características deseables. Esto debió permitir la rápida expansión de la población caballar de tal manera que podemos encontrar restos a lo largo de toda Europa del 2000 a.C. (Clutton-Brock 1999). Se asume que las yeguas de las distintas regiones varían en su morfología debido a las condiciones ambientales locales. Ésta podría ser la principal razón del porqué de la existencia de diferentes fenotipos encontrados en un lapso de tiempo relativamente corto, como ejemplos: el pequeño poni de la Gran Bretaña, el oeste Europeo y Grecia; y los distintos tipos de caballos Árabes que se encontrarían desde Scythia hasta las estepas de Rusia (Clutton-Brock 1999).

Estudios genéticos han mostrado que las variaciones de los colores de la capa surgieron rápidamente durante la domesticación, como resultado de la selección humana (Ludwig *et al.* 2009). Se supone que el color base, se supone, es el castaño o el castaño-pardo (inferiendo que el alelo silvestre es el castaño) encontrándose, además, en las regiones siberianas y europeas durante el Pleistoceno. En contraste, en el Holoceno temprano una proporción de caballos portaban ya el alelo recesivo para el color negro, debido tal vez a la migración postglacial (Anderson *et al.* 2009), siendo comunes las capas castaña y negra en lugares de Siberia y Europa del Este hasta bien entrada la Edad del Cobre. Aunque los primeros alelos alazanes han sido identificados en muestras rumanas de finales del séptimo milenio antes del presente, no es hasta el quinto milenio (antes del presente) en que se observan por primera vez caballos alazanes en Siberia, aumentando su prevalencia rápidamente, y alcanzando un 28% durante la Edad de Bronce (Ludwig *et al.* 2009). Las mutaciones responsables para las diferentes capas diluidas o manchadas aparecerían más tarde. Las capas crema y plateada fueron observadas inicialmente en Siberia (800 a 600 años a.C.). La capa sabina, primer fenotipo observado de manchado, apareció durante el tercer milenio a.C. en Siberia, y estaba presente en Armenia y Moldavia a mediados de la Edad de Bronce. El manchado tobiano fue observado por primera vez en una única muestra de Europa del Este (1500 a 1000 años a.C.), y luego también en Asia. A diferencia de Siberia y Europa del Este, en España no se observaron cambios de color (de las capas originales negras y castañas) hasta bien entrada la Edad Media (Ludwig *et al.* 2009; Rendo 2010).

1.4. Diversidad genética de los caballos

En los équidos se han realizado multitud de estudios genéticos, como se ha visto en el anterior apartado, demostrando la gran importancia e interés que conlleva esta especie. Tres tipos de marcadores genéticos han sido estudiados de manera extensiva durante la última década: secuencias de ADN mitocondrial (ADNmt), marcadores específicos del cromosoma Y (secuencias nucleotídicas, microsatélites, y SNPs (*single-nucleotide polymorphism*) y microsatélites de ADN nuclear autosómico (ver apartado 1.6.2.3.5).

La región control del ADNmt ha sido secuenciada a partir de muestras antiguas de caballos domésticos (Vilà *et al.* 2001). Se estima que la tasa de mutación ocurrida en la región control del ADNmt durante los últimos milenios ha sido muy bajo, casi nulo. Por ello, no sorprende que los haplotipos de los primitivos caballos domésticos sean

idénticos o muy parecidos a los haplotipos de los caballos domésticos actuales. Se han podido obtener más de 100 haplotipos distintos del ADNmt tras analizar un gran número de razas de todo el mundo. Las primeras razas equinas investigadas fueron los Lipizanos (Kavar *et al.* 1999; 2002) y los Árabes (Bowling *et al.* 2000; Jansen *et al.* 2002). Solamente en estas dos razas se encontraron 30 haplotipos distintos. Poco después se publicaron 7 nuevos haplotipos de 20 ponis de la antiquísima raza Exmoor (Luís *et al.* 2002). A diferencia del elevado número de haplotipos encontrados en Árabes y Lipizanos, la raza Sorraia (una raza primitiva ibérica recuperada a partir de 12 fundadores en 1937) presentó tan solo dos haplotipos ya descritos en otras razas (Luís *et al.* 2006).

La diversidad haplotípica en la mayoría de las razas de caballos se revela muy similar. En el trabajo realizado por Luís *et al.* (2006) se muestran las diversidades haplotípicas para 30 razas de la península Ibérica, América del Sur y América del Norte. De las 30 razas estudiadas, la que menor diversidad haplotípica (H_d) presentó fue el Sulphur Mustang, con $H_d=0,333$, caso extremo debido a que el resto de razas presentaron valores de $H_d>0,600$ (Asturcón, Cartujano, Losino, Marismeño, Pura Raza Española) y 10 de ellas de $H_d=1,000$ (Lusitano, Mallorquina, Menorquina, Pottoka, Sorraia).

Los caballos modernos proceden de un antecesor común que vivió hace de 320000 a 630000 años aproximadamente (Vilà *et al.* 2001). Por consiguiente, debió existir una mayor variabilidad genética mitocondrial antes de la domesticación (Lister *et al.* 1998). Las diferentes razas modernas comparten gran parte de sus haplotipos. Se ha reportado que 17 haplotipos de ADNmt, de elevada frecuencia, son suficientes para desarrollar un *network* (estructura de red) muy bien diferenciado (Jansen *et al.* 2002). Estos 17 haplotipos ancestrales se caracterizan por la escasez de polimorfismos, al igual que sus derivados evolutivos los cuales difieren en sólo uno o unos pocos nucleótidos (Kavar *et al.* 2002). Se debe tener en cuenta que el límite entre el haplotipo “ancestral” y sus “derivados” es, a menudo, confuso.

Los marcadores del cromosoma Y son específicos para machos y por consiguiente han sido utilizados ampliamente para analizar relaciones patrilineales. En caballos domésticos las líneas paternas han sido estudiadas con tres tipos de marcadores de cromosoma Y: secuencias específicas de cromosoma Y (Wallner *et al.* 2003),

microsatélites (Wallner *et al.* 2004) y SNPs (Lindgren *et al.* 2004). Se encontró un único haplotipo al analizar secuencias pertenecientes al cromosoma Y en distintos sementales (Wallner *et al.* 2003). El mismo resultado se obtuvo al genotipar seis *loci* microsatélite en 49 machos de 32 razas diferentes (Wallner *et al.* 2004). Además, también se encontró un único haplotipo al buscar SNPs a lo largo de 14,3 kb de regiones no codificantes del cromosoma Y, en 52 machos de 15 razas equinas distintas (Lindgren *et al.* 2004). La existencia de un único haplotipo, para los diferentes marcadores, encontrado hasta la fecha, sugieren que un número muy reducido de sementales debieron ser utilizados en el proceso de domesticación del caballo (Lindgren *et al.* 2004).

Al analizar muestras de diferentes machos para el cromosoma Y también se observó un solo haplotipo para el Caballo de Przewalski, el cual difiere sólo por dos nucleótidos de la secuencia del caballo doméstico (Wallner *et al.* 2003). Al realizar el genotipado para seis marcadores tipo microsatélite para el Caballo de Przewalski se obtuvieron dos haplotipos diferentes a los del caballo doméstico (difieren sólo en un *locus*) (Wallner *et al.* 2004). De forma similar los SNPs mostraron un único haplotipo, el cual difiere del observado en el caballo doméstico en seis nucleótidos (Lindgren *et al.* 2004).

El caballo de Przewalski sólo tiene dos haplotipos descritos tanto para el ADNmt como para el cromosoma Y, siendo un muy bajo número de haplotipos detectados, pero en relación al tamaño poblacional es alto. Esto podría indicar una alta variabilidad para el cromosoma Y en la antigua población del Caballo de Przewalski (aproximadamente igual a la variabilidad del ADNmt) (Lau *et al.* 2009).

En cuanto a estudios realizados con microsatélites, los cuales continúan siendo los marcadores más efectivos para realizar estudios genético poblacionales, así como para el control de filiaciones, además de otras muchas aplicaciones debidas a las propiedades que presentan (elevado grado de polimorfismo, herencia mendeliana simple, codominancia, facilidad de análisis, repetibilidad y automatizables) (Jarne & Lagoda 1996; Aranguren *et al.* 2005; Jones *et al.* 2010). Se han realizado un sinfín de estudios en diferentes razas equinas como, por ejemplo, el Hispano Bretón (Pérez-Gutiérrez *et al.* 2008; Valera *et al.* 2008), el Pura Raza Española (PRE) o también llamado Caballo Andaluz (Azor *et al.* 2007; Plante *et al.* 2007; Pérez-Gutiérrez *et al.* 2008, Valera, *et al.*

2008), el Pura Sangre Inglés (Cañón *et al.* 2000; Solís *et al.* 2005; Marletta *et al.* 2006; Kakoi *et al.* 2007; Plante *et al.* 2007), las razas Mallorquina y Menorquina (Cañón *et al.* 2000; Azor *et al.* 2007; Plante *et al.* 2007), el Caballo Trotador Español; (Azor *et al.* 2007), el Burguete (Solís *et al.* 2005; Valera *et al.* 2008), el Pottoka (Solís *et al.* 2005; Marletta *et al.* 2006; Plante *et al.* 2007; Rendo 2010), la Jaca Navarra (Solís *et al.* 2005; Marletta *et al.* 2006; Valera *et al.* 2008), los Mongoles y Bretones (Kakoi *et al.* 2007), el Percherón (Kakoi *et al.* 2007; Plante *et al.* 2007), el Asturcón (Cañón *et al.* 2000; Marletta *et al.* 2006; Plante *et al.* 2007), el Losino (Cañón *et al.* 2000), el Caballo Gallego (Cañón *et al.* 2000), los Appaloosa, Árabe, Belga, Canadian, Fjord, Hackney, Hannoverian, Icelandic, Morgan, Newfoundland, Peruano, Saddlebred, Sable Island y Standardbred (Plante *et al.* 2007) demuestran la importancia de utilizar este tipo de marcadores en la caracterización genética, además de facilitar la comparación poblacional entre y dentro de las razas (Tabla 1).

Tabla 1. Índices de diversidad genética para diferentes razas del mundo.

Raza	N	NMA	Ho	He	$f \approx F_{IS}$	Autor
Andaluz	68	7,42	0,740	0,750	0,010	Plante <i>et al.</i> 2007
Appaloosa	56	8,25	0,780	0,780	0,001	Plante <i>et al.</i> 2007
Árabe	50	6,41	0,660	0,720	0,083	Plante <i>et al.</i> 2007
Asturcón	45	7,08	0,790	0,740	-0,058	Plante <i>et al.</i> 2007
Belga	37	6,92	0,700	0,750	0,065	Plante <i>et al.</i> 2007
Bretón	20	5,40	0,735	0,710	-0,035	Kakoi <i>et al.</i> , 2007
Burguete	45	6,25	0,707	0,698		Solís <i>et al.</i> 2005
Caballo Gallego	72	7,80	0,710	0,760	0,066	Cañón <i>et al.</i> 2000
Fjord	59	6,17	0,710	0,700	-0,011	Plante <i>et al.</i> 2007
Hispano-Bretón	42	7,54	0,680	0,743	0,085	Pérez-Gutiérrez <i>et al.</i> 2008
Jaca Navarra	122	7,80	0,703	0,728	0,034	Cañón <i>et al.</i> 2000
Losino	66	6,80	0,715	0,702	-0,019	Cañón <i>et al.</i> 2000
Mallorquín	44	7,17	0,780	0,740	-0,046	Plante <i>et al.</i> 2007
Menorquín	52	7,08	0,750	0,740	-0,018	Plante <i>et al.</i> 2007
Percheron	17	5,50	0,688	0,700	0,016	Kakoi <i>et al.</i> 2007
Peruano	55	6,83	0,740	0,730	-0,009	Plante <i>et al.</i> 2007
Pottoka	45	8,08	0,780	0,780	-0,007	Plante <i>et al.</i> 2007
Pura Raza Española	38	6,69	0,709	0,704	-0,008	Pérez-Gutiérrez <i>et al.</i> 2008

N: tamaño muestral; NA: número de alelos; NMA: número medio de alelos por locus; Ho: heterocigosidad observada; He: heterocigosidad esperada; $f \approx F_{IS}$: (-) exceso o (+) déficit de heterocigotos.

1.5. Los caballos de carne

En las pinturas y dibujos prehistóricos encontramos, casi siempre, animales grandes (bisontes, ciervos, mamuts). Tal vez, se trataba esto de una clase de invocación, por conseguir este tipo de presas (tenían un mayor valor simbólico que las presas de menor tamaño), o de recuerdo y celebración de su cacería. Entre los animales dibujados en varias partes de Europa (cueva de Lascaux, cueva del moro), se encuentran los caballos (o más bien, tarpanes), lo que indica que debían ser una presa muy preciada y que el consumo de su carne era habitual. El descubrimiento de restos en los interiores de estos lugares habitados así lo confirma (University of Washington 2003; Sealing 2008).

Más adelante, y una vez domesticado, el caballo tuvo mucho más valor vivo que muerto, y así, en muchas sociedades ibéricas, se explotaban los caballos y asnos como cabalgaduras, bestias de tiro y carga, además de aprovecharse la piel. La carne no era consumida y los animales muertos acababan en el estercolero, por lo que sus restos son inusuales en los antiguos asentamientos habitados (como los referentes a la cultura celta) (Cano *et al.* 2000).

En la Edad Media, las penurias y el hambre que asolaban Europa se desaconsejaba el desperdicio de cualquier alimento comestible, y así, los reyes autorizarían, con determinadas restricciones, la venta y consumo de carne de caballo. La importancia de los caballos está patente en los libros de cuentas del rey Jaume I. Se conservan datos de la conquista de Almería donde se referencia los pagos a los nobles por los caballos aportados. Pese a la aparición de la artillería y la caballería mecanizada, los caballos constituían un bien militar, y por ello se regulaba su sacrificio y se restringía la venta de carne a establecimientos específicos que, por razones sanitarias, eran de venta exclusiva (GENCAT 2002).

En España, esta autorización condicionada estuvo vigente hasta hace muy poco, y tanto los animales para sacrificio como los establecimientos de venta debían estar específicamente autorizados. Dichos establecimientos estaban limitados en número y disponían de un cupo anual. Además, los caballos destinados al sacrificio debían ser reconocidos por un veterinario que debía certificar tanto su idoneidad para el consumo, como que no eran aptos para una mejor utilización.

Así que, durante mucho tiempo, la carne de caballo en España procedía mayoritariamente de animales viejos y de bajas calidades cárnicas. Su apariencia presentaba un color oscuro y una grasa amarillenta que no contribuían a estimular su consumo. Por estas razones, siempre fue considerada como una carne de segunda. Los establecimientos de venta se situaban en los barrios obreros de las grandes ciudades y tan sólo algunos médicos recomendaban su consumo para niños desnutridos. En los últimos tiempos, la oferta ha mejorado así como el precio de venta, por lo que el factor económico ya no tiene una influencia tan decisiva en el consumo. Actualmente, prevalecen razones relacionadas con hábitos de consumo o con elecciones personales.

A día de hoy, la legislación (comunitaria y nacional) no pone trabas a la producción de carne de caballo, aunque evidentemente, tiene que respetar el reglamento en sus aspectos sanitarios, medioambientales y de bienestar animal. La producción de carne de caballo se ha presentado en distintos países de Europa como una alternativa más dentro de las carnes de abasto, y como la posibilidad de aprovechar terrenos marginales no adecuados para otras especies. Aproximadamente el 2,8% de todos los caballos de Europa corresponde a caballos destinados a la producción de carne (Catelli 2004). Ahora bien, el consumo de carne de caballo se encuentra restringido a una minoría de la población muy definida que valora ni sus cualidades (carne magra, tierna, de alta calidad proteica, rica en glucógeno, dulce) frente a otra mayoría que no valora éstas ni las posibles desventajas (baja consistencia, conservación corta) sino que se rige por unas motivaciones éticas ligadas a la humanización del animal. Junto a la fuerte incidencia que tienen las producciones de cerdos, aves o rumiantes, inclusive conejos, en los cuadros macroeconómicos, la ganadería equina queda, casi siempre, al margen de cualquier estudio, y consecuentemente de su promoción.

En los últimos años, España ha ocupado las últimas posiciones entre los 20 países catalogados como los mayores productores de carne de caballo. En contraste, China ocupó el primer puesto de la producción en el año 2009 con 198000 toneladas/año. El primer productor europeo y séptimo a nivel mundial es Italia con 24500 toneladas/año. No obstante, si se incluyera Rusia a nivel europeo desplazaría a Italia con 47000 toneladas/año (<http://faostat.fao.org/site/569/default.aspx#ancor>). Según el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, MARM (2009), España produjo 6366 toneladas en el año 2009. El peso de la canal de equino registró un aumento del 1% con

respecto al año anterior (2008). Entre los meses de enero a junio del 2010, se produjo un aumento del 10% de ventas respecto al mismo período de 2009. Este incremento en la producción de carne de caballo a nivel de España contrasta con los datos de Catalunya, comunidad autónoma que ha reducido en un 3,83% la venta de la canal equina (según datos de enero y febrero de 2009 respecto a los mismos meses de 2008). Sin embargo, Catalunya ocupa el segundo lugar tanto en la producción como en la comercialización de este tipo de carne (por detrás de la comunidad autónoma valenciana (www.marm.es/es/estadistica/temas/encuesta-de-sacrificio-de-ganado/)).

De la producción total equina de tipo cárnico que se da en Catalunya, aún queda una parte de caballos que se sacrifican y se venden en las pequeñas carnicerías especializadas para ello. Caballos de reforma procedentes de distintas localidades así como potros destinados expresamente a esta finalidad son engordados en comarcas catalanas de las planicies central y costera. Pero es en la montaña pirenaica donde la cría de caballos para carne tiene una verdadera tradición. Sin embargo, el consumo aparente *per capita* (kg totales/habitantes totales) en Catalunya es muy bajo (0,2 kg/hab/año) (GENCAT 2002), muy por debajo del consumo en Italia de 1,3 kg/hab/año (Catelli 2004).

Desde el punto de vista dietético y sanitario, se ha demostrado que la carne de caballo ofrece cualidades muy interesantes (Pérez 1992): un menor contenido en grasa, una mayor riqueza en glucógeno y un elevado valor proteico; es un difícil transmisor de enfermedades para el hombre; tiene un supuesto efecto antianémico y propiedades inmunizantes respecto a la tuberculosis, entre muchas más. Se trata de un producto de calidad que podría enmarcarse dentro de las producciones ecológicas como un alimento naturista. En esta línea podría estar el porvenir de la producción de carne de caballo, obtenida a partir del aprovechamiento del ecosistema de montaña, que es muy importante en España si se tiene en cuenta que más del 60% de las tierras peninsulares se sitúan por encima de los 500 metros de altitud (Pérez 1992).

Problemática del sector equino de carne

El sector equino cárnico en España afronta dificultades que han expuesto las debilidades de la producción y consumo de este tipo de carne en la situación actual, relacionadas con la fragilidad estructural, aspectos sociales, el marco legal y comercial, entre otras.

Al analizar la problemática del subsector de producción cárnica, el primer factor que hay que tener en cuenta es la debilidad estructural del sector en general y de las explotaciones en particular. Las explotaciones de carne tienen una estructura empresarial muy débil por las siguientes razones: son de carácter familiar; el envejecimiento de los ganaderos y la dificultad para su relevo generacional; la escasa dimensión territorial y económica; la dificultad para soportar cargas financieras; la infraestructura, maquinaria e instalaciones obsoletas; los sistemas de producción poco modernizados; además, se asientan en zonas de montaña desfavorecidas. Asimismo, la extensa oferta de otras carnes y la dificultad para adquirir carne de caballo, por la baja oferta del mercado, hacen que se reduzca su consumo en una sociedad en la que el tiempo marca de manera importante la forma de vida.

Este tipo de situaciones generan problemas graves para los ganaderos y por ende para las razas, afectando a su óptima productividad. Las razas autóctonas están a menudo mejor adaptadas genéticamente a su medio ambiente y resultan más productivas a menor costo. Mantienen su productividad aunque consuman forrajes de menor calidad, y son más resistentes a las variaciones climáticas, así como a los parásitos y enfermedades locales, constituyendo así un reservorio único de genes para mejorar la salud, además de incrementar la capacidad de selección hacia distintos caracteres productivos. Para cumplir con los objetivos propuestos respecto a la seguridad alimentaria local es más eficaz utilizar las razas autóctonas (www.fao.org/biodiversity/Domestic_es.asp).

1.5.1. El Cavall Pirinenc Català

El Cavall Pirinenc Català (CPC) (Figura 1) tiene su área de distribución geográfica en gran parte del Pirineo y Prepirineo catalán. Es una raza equina heterogénea, de orientación básicamente cárnica, que se había denominado tentativamente hasta el 30 de abril de 2008 (DOGC Núm. 5122) con el nombre de Agrupación Hipermétrica Pirenaica (AHP): Agrupación, por no poderla encuadrar, al menos hasta la fecha del decreto, dentro del esquema de raza; Hipermétrica, por poseer sus individuos características generales de la hipermetría (caballos pesados); y Pirenaica, por ser el sitio de cría y origen. Esta última, es la razón primordial de su actual nombre.



Figura 1. Cavall Pirinenc Català (CPC).

Esta raza tiene un origen étnico plural, y actualmente se encuentra más relacionada con razas extranjeras (Bretón, Comtois, Ardennais) que españolas (Parés *et al.* 2005, Parés *et al.* 2006). El CPC posee cualidades de adaptación al terreno, rusticidad y buena fertilidad. La morfología de estos individuos responde a los criterios de animales para la cría. El potro nace en condiciones totalmente extensivas. Las yeguas están durante todo el año al aire libre, normalmente con un único semental, que las cubre cuando éstas entran en celo, sin intervención humana. No son estabulados en período invernal, y solamente los días más fríos pueden recibir una ración de volumen, normalmente a base de paja de baja calidad. Los costos de alimentación complementaria suelen ser mínimos, de tal manera que se logre el máximo rendimiento económico (Francesch *et al.* 2002; Parés *et al.* 2005).

La denominación de Hispano-bretones, que fue ampliamente utilizada durante un cierto periodo de tiempo para referirse a los individuos del CPC es del todo incorrecta, tanto por motivos zootécnicos como históricos. Dicha denominación aparece en 1966 para nombrar a los sementales del depósito militar de Barcelona. Desde entonces, se ha venido aplicando este nombre a todos los caballos pesados, pero es un gran error

etnológico que conviene aclarar, porque esa denominación se refiere a un animal procedente de un cruce entre un Bretón y un Pura Raza Español (Parés *et al.* 2005). El importante descenso del censo equino en Catalunya, como en muchos otros lugares, no fue provocado únicamente por la mecanización del campo. La verdadera crisis para los CPC surgió al desaparecer la tracción hipomóvil de la industria, los servicios y el transporte. Si bien con una importancia variable según la comarca, la supresión de las unidades de caballería del ejército también dio lugar a una fuerte recesión de la cabaña equina en general (incluyendo al CPC), siendo destinado posteriormente como caballo de carne, caballo de deporte y caballo de recreo.

Origen

Los caballos que dieron lugar al CPC, y más concretamente los de la antigua Cerdanya, se caracterizaban antiguamente por su eumetría y perfiles subconvexos, como derivado que eran del tipo mongólico que llegó a esa región así como a la vertiente oriental de los Pirineos franceses. Las antiguas migraciones en épocas prehistóricas y más tarde en épocas griegas y romanas, favorecieron la presencia de este tipo de caballo en la zona. Más recientemente, la invasión de los árabes hasta las Galias no hizo más que afianzar caracteres (Aparicio 1960).

La fertilidad de las llanuras que se extienden a los pies de los Pirineos Orientales españoles como los valles de Puigcerdà y Figueres y algunas otras comarcas como Osona, ricas en pastos naturales y recursos forrajeros, junto con la creciente demanda de un caballo adecuado para el transporte de productos agrícolas e industriales hicieron que se pusieran en práctica toda clase de cruces con razas de tiro a finales del siglo XIX y sin que, por desgracia, existiera previamente un razonado estudio de orientación racial (Aparicio 1960).

Puede decirse que esta primera etapa dirigida a la obtención de un caballo de acarreo y transporte se caracterizaba por el deseo de obtener en las poblaciones caballares autóctonas mayor volumen y, en consecuencia, amplias masas musculares propicias a la aptitud buscada. Y así, el tipo originario (eumétrico, con una alzada de 1,40 a 1,50 metros, cabeza subconvexa y braquicraneota, cuello fuerte, dorso acortado, grupa derribada, tronco de costillares algo aplanados y extremidades finas) fue sustituido lentamente por otro de mayor amplitud. Múltiples razas obraron sobre este tipo de

caballo con lo que se generó diferentes caracteres aloídicos, puestos de relieve por la alta diversidad de los perfiles obtenidos. La producción de esta agrupación caballar parece definirse hacia un tipo hipermétrico subconcavilíneo y mediolíneo; pues si bien en los años 60 la influencia decisiva del Bretón y del Ardennais hizo prever para esta población caballar formas celoides y recogidas, también influyó la raza Boloñesa de perfiles rectos, importada profusamente (Aparicio 1974).

Así, mediante el cruce de las razas autóctonas (yeguas del extinto “Cavall Català”) con sementales, principalmente bretones, se llevó a cabo una selección de las crías. La gran tradición equina imperante en la comarca de la Cerdanya hizo que durante mucho tiempo los ganaderos fueran aquéllos que poseían los más profundos conocimientos y la más extensa formación en cuanto a la cría del caballo. Esta tradición ha llegado hasta nuestros días, siendo todavía la Cerdanya la comarca catalana donde esta cultura equina ha perdurado con más arraigo (Cabús 1988).

Características generales

Desde finales del siglo XIX, empezaron a hacerse toda clase de cruzamientos de las yeguas del extinto Cavall Català con razas definidas para su aptitud de tiro. Estos cruces se hicieron sin ningún estudio previo y razón de orientación (Parés *et al.* 2005). Hoy en día, todavía no existe ningún objetivo selectivo claro más que la iniciativa de los propios ganaderos. La variabilidad morfológica es elevada y la fijeza racial escasa. Por esto presenta una alta diversidad morfológica y de perfiles, además de grandes variaciones en las proporciones. El patrón descriptivo que se ofrece no coincide plenamente con toda la población, e incluso puede alejarse en algunos casos para individuos con fenotipos extremos.

De forma muy resumida, las características generales que definirían su patrón serían las siguientes:

Los individuos son de plástica sublongilínea, formato subhipermétrico a hipermétrico y perfil fronto-nasal subcirtoide (subconvexo). Su alzada a la cruz oscila entre 145 y 160 cm, dependiendo del sexo, con pesos comprendidos entre 650 y 750 kg. De temperamento tranquilo, son sin embargo vivaces, ardientes y vigorosos. Son animales

muy rústicos, longevos y sobrios, con notables aptitudes para la cría. Se explotan en régimen extensivo principalmente para la producción de carne.

Características Regionales:

Cabeza: grande, de perfil craneal ortoide (recto) y fronto-nasal subcirtoide (subconvexo). Orejas móviles de tamaño medio.

Cuello: fuerte y robusto, de longitud media. Crin larga y abundante.

Tronco: cilíndrico y costillar ancho y bien arqueado. Pecho ancho y profundo. Cruz marcada, pero escasamente destacada. Dorso recto. Grupa ligeramente caída y oblicua, a veces doble. Cola abundante y de nacimiento medio.

Extremidades: fuertes y bien conformadas, aunque suelen ser relativamente finas con relación a la masa que deben soportar. Es típica la presencia de sedas. Excelentes cascos.

Capa: los pelajes básicos son el alazán, el castaño y el negro, y en menor medida el overo y el bayo, en sus diferentes tonalidades. Los pelajes ruanos y tordos también son admitidos, pero no priorizados. No se admiten los pelajes manchados y los derivados del gen crema. Según Parès & Parès (1997), la capa alazana registró la mayor distribución porcentual (60%) para esta raza, seguida por la capa castaña y la overa con 12% y 10%, respectivamente.

El dimorfismo sexual suele ser muy manifiesto.

Las características productivas responden a una gran fertilidad, una gran rusticidad, mucha sobriedad y una orientación básicamente cárnica. La edad media al primer parto es de 3,5 años. La actividad reproductora se mantiene, de forma general, con la regularidad de un potro por año. Los partos tienen lugar entrada la primavera, con la llegada del buen tiempo, de tal manera que cuando los potros comiencen a pastar puedan soportar perfectamente la climatología al aire libre.

Actualmente, se ha logrado una rentabilidad en la cría de estos animales para su producción cárnica, si bien suele ser una producción marginal y muy dependiente de los pastos de montaña. La gestión comunal es la principal forma de manejo comercial en la explotación de esta clase de ganado. La posibilidad de mantener la gestión implica mantener la capacidad de decisión y la posibilidad de adaptación a nuevos usos y

funciones. Como la capacidad de decisión está en manos de los ganaderos, su margen de maniobra es alto.

Asociaciones y Libro Genealógico

Las diferentes asociaciones del Cavall Pirinenc Català (*Associació de Criadors de Cavalls de la Cerdanya, Associació Professional de Ramaders d'Equí d'Hispanà-Bretó del Pallars Sobirà, Associación de Pagesi-Criadors deth Shivaus Cavall Pirinenc Català dera Val d'Aran, Associació Professional d'Equí de Muntanya "Pirineus de Lleida", Associació de Criadors d'Eugues de Muntanya del Ripollès, Associació Criadors i Propietaris de Cavalls Hispanobretons de l'Alt Urgell*) gestionan los diferentes temas relacionados con el proceso que debe llevarse a cabo para poder otorgar el estatus de raza oficial bajo la dirección de la “Federació d'Associacions de Criadors de Cavall Pirinenc Català” (FECAPI). Esta asociación, creada el año 2007, debe realizar las funciones de promover, defender y divulgar las características singulares de la raza y velar por el mantenimiento del prototipo racial definido en su libro genealógico.

El día 13 de diciembre de 2007, en una reunión mantenida en las dependencias del DAR (Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural - Generalitat de Catalunya), con representación de todas las asociaciones, la administración y la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), se aprobó su estándar oficial y el cambio de nombre de esta agrupación racial (AHP), que a partir de ese momento pasó a denominarse "Cavall Pirinenc Català". De manera conjunta con la reglamentación se publicó el Libro Genealógico el 30 de abril de 2008 en el Diario Oficial de la Generalitat de Catalunya (DOGC, Núm. 5122, de 30 de abril de 2008) (Anexo 1 y 2).

Una vez creada la federación (FECAPI), publicado el estándar racial, abierto el Libro Genealógico de la raza, y luego de realizar las valoraciones morfológicas correspondientes (por parte de los técnicos de la federación), quedaron inscritos en el Registro Fundacional del CPC, a enero de 2010, un total de 5047 reproductores adultos vivos (4555 yeguas y 492 sementales), propiedad de los 309 asociados a FECAPI (Tabla 2).

Tabla 2. Asociados a FECAPI (distribuidos en las 6 asociaciones comarcales) y reproductores adultos vivos (yeguas y sementales) inscritos en el Registro Fundacional del Libro Genealógico.

Asociación-Comarca	Socios	Yeguas	Sementales
Val d'Aran	33	422	35
Pallars Jussà- Alta Ribagorça	32	745	64
Alt Urgell	18	225	20
Pallars Sobirà	79	1140	64
Cerdanya	92	1249	178
Ripollès	55	774	83
TOTAL	309	4555	492

1.5.2. Otras razas equinas de tipo pesado

1.5.2.1. La Jaca Navarra

La Jaca Navarra es una raza equina autóctona de origen desconocido (Pérez de Muniaín 1997), localizada en la Comunidad Foral de Navarra. Está incluida en el Catálogo de Razas de Ganado Autóctono de Navarra como raza equina en peligro de extinción (Orden Foral de 26 de Mayo de 2003, Boletín Oficial de Navarra), y su Patrón Racial y Libro Genealógico quedan establecidos por la Orden Foral de 11 de julio de 2001 (BON 105, 2001). El Libro Genealógico lo administra la Asociación de Criadores de Raza Equina Jaca Navarra (JACANA).

Aunque también es conocida como Poni de Navarra o Caballito de Andía, y debido al efecto de los cruzamientos con razas foráneas durante las últimas décadas, algunos autores la consideran ya como una raza semipesada (Rendo 2010). Hoy en día, se encuentra limitada a pequeños núcleos de las Sierras de Urbasa y Andía, donde se cría en un sistema extensivo, recibiendo suplementación a base de pienso o forraje durante la estación invernal. Su censo total es de 602 animales, con 32 machos y 570 hembras reproductoras (Rendo 2010). Debido a su ámbito de desarrollo, se trata de una raza rústica, capaz de resistir a situaciones límite asociadas al clima adverso y a los baches nutricionales del invierno, de gran longevidad y prolongada fecundidad, caracterizada por un gran temperamento (Alfonso 1998).

1.5.2.2. El Hispano-Bretón

El caballo Hispano-Bretón se originó a partir del cruce de sementales bretones con yeguas autóctonas de aptitud para el trabajo y cárnica (Alonso 1999). Las áreas de ubicación tradicionales se situaban en las zonas de montaña de las provincias de León, Burgos, Palencia y Soria, y pequeños núcleos en otras provincias localizadas al sur de la comunidad Castellano-Leonesa, como Zamora, Ávila o Valladolid. En la actualidad, la presencia en estas últimas provincias es testimonial, encontrándose clasificada como “raza de protección especial o en peligro de extinción” tanto por el Comité de Estructuras Agrícolas y Desarrollo Rural (STAR), como por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Su Estándar Racial y Libro Genealógico fue aprobado en 1998, por parte de la Consejería de Agricultura y Ganadería en Castilla y León (Fernández 2009), y lo administra la Asociación Nacional de Criadores de la Raza Hispano-Bretona. Su censo aproximado es de 5472 animales repartidos en 623 explotaciones (Yanes 2009).

El sistema de explotación mayoritario es el extensivo, manteniendo las yeguas con sus potros en los pastos de montaña y valles cercanos durante una gran parte del año, y trasladándolas a zonas más protegidas con suplementación en su alimentación a base de forrajes tan sólo en las zonas de condiciones meteorológicas más extremas. Por su conformación y carácter, estos animales son aptos para las labores de tiro pesado o semipesado, montura o trabajo, aunque su orientación productiva más clara en el momento actual, es la producción de carne (Alonso de la Varga 1999).

1.5.2.3. El Caballo de Burguete

El Caballo de Burguete es una raza autóctona presente en la Comunidad Foral de Navarra, originada a partir del cruce de razas foráneas con la raza autóctona, Jaca Navarra. También se encuentra incluida en el Catálogo de Razas de Ganado Autóctono de Navarra en peligro de extinción (Orden Foral de 26 de Mayo de 2003, Boletín Oficial de Navarra). El Libro Genealógico lo administra la Asociación de Criadores de Ganado Equino Burguete de Navarra (ASCANA), quedando recogido junto con su Patrón Racial en la Orden Foral de 26 de Abril de 1999.

Actualmente, esta raza se explota en un sistema de semi-libertad, aprovechando los pastos de montaña y los prados durante las estaciones de primavera, verano y otoño,

trasladándose los animales durante la estación invernal a zonas más próximas a los núcleos poblacionales (pastos comunales o prados), debido a las duras condiciones climatológicas y a la escasez de recursos en el medio, por lo que tienen que recibir suplementación a base de heno, concentrado y paja.

El censo actual de la raza Burguete es de aproximadamente unos 4200 ejemplares, con 290 machos y 3910 hembras reproductoras, repartidos en 203 explotaciones (Rendo 2010; Gómez *et al.* 2010).

1.5.2.4. El Bretón

Toma su nombre de la región de Bretaña, en el noroeste de Francia. Es un caballo de raza enérgica, muy apreciado por los campesinos para las labores del campo. Existen tres tipos de Bretón, que en conjunto satisfacen las necesidades de los lugareños. Todos ellos descienden del caballo de Bretaña originario. El de mayor tamaño es el de tiro, sus antepasados eran caballos robustos. El Bretón de posta es de un tipo más fino pues desciende de caballos cruzados. El Bretón Corlay, no muy conocido, es el más ligero de los tres. En el pasado, su ascendencia de sangre caliente hizo de él un elegante caballo de tiro, al mismo tiempo que un popular caballo de silla. En general, tiene la cara ancha y recta, los ojos expresivos y las orejas pequeñas. Su cuello es corto y fuerte y su espalda angulada. Tiene las extremidades y el dorso cortos y musculosos, lo que le confiere una gran potencia. Sus extremidades presentan pocas cernejas. Los distintos tipos de Bretón oscilan entre los 165 y 188 cm de alzada. Las capas más frecuentes son el alazán y el castaño. El Bretón de posta es un caballo vivaz y bonachón, bien dispuesto y muy trabajador. El de tiro, como todas las razas de sangre fría, posee gran capacidad para efectuar trabajos que requieren potencia y fuerza (Kresse 2001).

1.5.2.5. El Comtois

Es un caballo de tiro ágil pero resistente, procedente del macizo del Jura, Francia. Se cree que existía ya en el siglo VI. En el XVI era muy conocido como caballo de caballería y artillería, y fue utilizado tanto en el reinado de Luis XIV como durante el imperio napoleónico. Actualmente, es muy popular entre los agricultores de las montañas siendo un trabajador infatigable; se emplea en el transporte y para trabajar en los viñedos, también para tirar de los trineos en centros de esquí y como caballo de silla. Tiene la cabeza grande, los ojos bien abiertos y las orejas pequeñas. Su recto cuello se

une a un fornido y potente tronco ancho. El dorso lo tiene largo y recto, las extremidades son cortas y fuertes y poseen poco pelo, los cuartos traseros son musculosos y la cola la tiene espesa. La alzada oscila entre 151 y 162 cm. Las capas varían en tonalidades de alazán, que suelen oscurecerse hasta el castaño y el castaño oscuro. La crin y la cola son de color claro. El Comtois es robusto y vive hasta una avanzada edad (llegando a los 25 años). Tiene muy buen carácter, es fácil de domar y muy trabajador. Su fuerza, su agilidad y rapidez de movimientos hicieron de ellos los caballos ideales para la caballería francesa (Kresse 2001).

1.6. Los recursos genéticos de los animales domésticos

Los recursos genéticos son de los activos más valiosos y de mayor importancia estratégica con los que cuentan los países. Muchos de ellos tienen especies animales y razas autóctonas que podrían contribuir mucho más a la producción de alimentos y a la agricultura de lo que hoy aportan, y satisfacer así necesidades humanas mucho más vastas.

Esfuerzos conservacionistas para muchas especies se han enfocado en taxones silvestres. Sólo recientemente los animales domésticos han sido reconocidos como componentes clave de la biodiversidad (Groeneveld *et al.* 2010). Los caballos se dividen en unas cuantas especies silvestres, y una ingente red de razas con una gran cantidad de nichos comerciales, con lo que su conservación resulta complicada. La erosión genética puede ocurrir en cualquier población racial, a menos que las relaciones de varias poblaciones ecuestres sean entendidas y apreciadas. La falta de interés por conservar recursos de especies domésticas conlleva que una gran proporción de la diversidad del caballo se pierda. Los esfuerzos conservacionistas deberían actuar a partir de niveles jerárquicos bajos, razas, para que puedan ser efectivos (Moehlman 2002).

De las 50000 especies de mamíferos y aves conocidas, unas 30 se han venido utilizando ampliamente en la ganadería, y sólo 15 especies abarcan más del 90% de la producción pecuaria mundial. En los últimos 15 años, 300 de las 6000 razas definidas por la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) se han extinguido, aunque se estima que existen unas 7500 razas. Actualmente, 1491 razas corren peligro de extinción (20% del total de las razas actuales), y un promedio de dos razas desaparecen semanalmente. Comparando especies, *Equus caballus* es la que mayor proporción de

razas en peligro de extinción tiene (Groeneveld *et al.* 2010), lo que confirma que el caballo es la cara más visible de la gran erosión de la diversidad genética ocasionada por la drástica reducción en el tamaño de las poblaciones.

La principal justificación del porqué conservar las razas es el mantenimiento de la máxima diversidad genética posible. Ésta se hace indispensable si lo que se busca es incorporar cambios dentro de una raza con una producción ya especializada para mejorar la calidad o cantidad del producto (Boettcher *et al.* 2010). Otra razón muy importante para conservar es disminuir la carga genética poblacional ocasionada por la selección, de tal manera que la raza esté capacitada para adaptarse a las condiciones climáticas o a enfermedades. Así, la conservación tendría como finalidad última la de alimentar a la actual población humana, además de las generaciones venideras. Por otro lado, al conservar las razas también se preservan valores culturales e históricos (Hanotte *et al.* 2005).

Conservar conlleva un costo muy elevado. Las razas no comerciales tienen una clara desventaja frente a las comerciales, y es que no pueden costearse programas de conservación. De tal manera, requieren incentivos o subsidios *in situ* por parte de entidades gubernamentales para poder permanecer viables. Además, un programa *ex situ* acarrearía un costo adicional para poder mantener un acervo genético a una eventual catástrofe (Boettcher *et al.* 2010).

1.6.1. Clasificación de las razas según el estado de riesgo

Según el Banco Mundial de Datos (Beate 1997), las razas se pueden clasificar en siete categorías: desaparecida, crítica, en peligro, crítica-mantenida, en peligro mantenida, no en peligro y estado desconocido. La clasificación está basada en el tamaño total de la población, el número de hembras reproductoras y la tendencia de la evolución en el número de individuos (creciente, decreciente o estable). Si una raza está en el límite de dos categorías, se consideran otros factores, algunos de ellos son el número de machos usados en inseminación artificial, el número de dosis de semen, el número de embriones acumulados y el número de rebaños. Otro factor tomado en cuenta es la existencia o no de un programa de conservación.

Las reglas utilizadas para determinar el estado de riesgo son las siguientes:

- Desaparecida: no es posible recrear la población. Esta situación es absoluta cuando no hay machos (o semen) ni hembras reproductoras (u ovocitos), ni embriones. En realidad, la desaparición puede constatarse bastante antes de la pérdida del último animal, gameto o embrión.
- Crítica: el número total de hembras reproductoras (HR) es inferior a 100, o el número total de machos reproductores (MR) es inferior o igual a 5. También se puede cuantificar por el tamaño total de la población (TTP) que debe ser próximo a 100 y decreciente, y el porcentaje de hembras criadas en raza pura (HPR) es inferior al 80%.
- En peligro: HR entre 100 y 1000, MR entre 5 y 20; o TTP próximo a 100 y creciente, y HPR mayor del 80%; o TTP próximo a 1000 y decreciente, y HPR inferior al 80%.
- Las razas clasificadas como crítica-mantenida o en peligro-mantenida identifican a poblaciones críticas o en peligro para las cuales existen programas de conservación activos o son mantenidas por compañías comerciales o institutos de investigación.
- No en peligro: HR superior a 1000 y MR superior a 20; o TTP próximo a 1000 y HPR próximo 100%.
- Estado desconocido: no existen datos del censo de animales.

En cuanto a los recursos equinos españoles, según la clasificación propuesta por la FAO, existen 12 razas equinas en España. Nueve de éstas se encuentran en distintos niveles de peligro de extinción: 1 en situación crítica-mantenida; 5 en peligro de extinción (entre las que se encuentra la Jaca Navarra); 3 en peligro-mantenida (entre las que se encuentran el Hispano Bretón y el Caballo de Burguete). Se deberá añadir el Cavall Pirinenc Català a las razas en situación de riesgo. En cuanto a los recursos equinos especializados para la producción de carne, España sólo cuenta con 4 poblaciones equinas (Jaca Navarra, Hispano Bretón, Caballo de Burguete y Cavall Pirinenc Català), y por tal motivo las relaciones interraciales (morfológicas, ecológicas, genéticas, culturales, etc.) deben ser analizadas. Todas las razas se encuentran

reconocidas en el Catálogo Oficial de Razas de Ganado de España como razas autóctonas en peligro de extinción (**BOE Núm. 23, de 27 de enero de 2009**) y se espera que la inclusión del CPC este próxima.

1.6.2. Conservación de poblaciones en peligro de extinción

En la actualidad, la FAO es el principal organismo internacional encargado de la conservación de los recursos genéticos animales (razas, líneas, variedades, poblaciones geográficas o genotipos individuales disponibles), entendiendo por conservación la administración del uso humano de la biosfera de manera que ésta produzca el mayor provecho sustentable para las generaciones actuales, siempre manteniendo el potencial para satisfacer las necesidades y las aspiraciones de las generaciones futuras (Checa 2004, www.fao.org/about/mission-gov/es/).

Los programas de conservación de recursos genéticos animales pueden ser considerados como un importante componente dentro de los programas de conservación de la biodiversidad, planteados en 1992 en la Conferencia de Río de Janeiro (Brasil) y convirtiéndose en derecho internacional el 29 de diciembre de 1993 por la Convención sobre Diversidad Biológica (CDB), con tres objetivos: a) conservación de la diversidad biológica, b) utilización sostenible de sus componentes y c) reparto justo y equitativo de los beneficios que genere su utilización (www.europa.eu). De igual manera, se desarrolló un protocolo para la conservación de poblaciones en peligro de extinción (Anexo 3). En este protocolo en el que se plantea las siguientes fases: primera, realizar una descripción general de la población; la segunda fase es realizar la caracterización racial de la población (caracterización morfológica y genética la población); la tercera fase es realizar un programa de conservación genética *in situ* (el objetivo prioritario es la conservación y mantenimiento de animales vivos con la máxima diversidad genética y con el mínimo incremento de consanguinidad posible por generación); la cuarta fase es realizar un programa de conservación genética *ex situ* (conservación de animales vivos en granjas o parques, conservación criogénica de germoplasma), y por último, la quinta fase es realizar un programa de mejora animal (mejorar genéticamente algún carácter de interés económico de la población).

1.6.2.1. Caracterización estructural de las explotaciones

Según el protocolo planteado por la FAO (1992), para la conservación de poblaciones en peligro de extinción y utilizado en razas equinas (Folch 1998), se debe iniciar la estrategia de conservación por una primera fase (fase I), en la que se sugiere realizar una descripción general de la población (caracterización estructural de las explotaciones). El conocer qué hay, cuánto hay, dónde está, cómo está, de dónde viene, hacia dónde se dirige, etc., es de vital importancia para el óptimo desarrollo productivo de cualquier explotación y de antemano de cualquier raza (Avellanet & Jordana 2003; Carné 2005; Parés 2006). Recientes publicaciones en razas equinas cárnica españolas fortalecen este tipo de estudios (Valera *et al.* 2009b). La recopilación de datos de interés general como: la localización geográfica de las poblaciones, el origen, la evolución censal y situación actual, las posibles causas de regresión racial y tendencia futura, las perspectivas futuras de la raza y razones válidas para la conservación (estudios socioeconómicos que resalten su importancia económica en la zona) y las características raciales, productivas, reproductivas, ecológicas, etc. generan un conocimiento de la raza, y por ende, es factible desarrollar programas que fomenten su uso y conservación.

Las razas tienen un valor cultural, el cual depende en gran medida del tiempo que llevan establecidas en la zona, la importancia histórica de sus productos o de su utilización y la identificación de la población humana con ellas (Gandini & Giacomelli 1997). Aunque los aspectos culturales pueden jugar un importante papel en la promoción de la raza, no existen medidas objetivas para evaluarlo. En cuanto al valor ecológico, la interrelación óptima a un determinado ecosistema contribuye en gran medida a la conservación de las mismas (Ruane 1999). En cuanto al valor sociológico, decir que constituye un elemento muy importante en la actividad rural, favoreciendo el mantenimiento de un equilibrio demográfico en las zonas deprimidas y contribuyendo a un aspecto que cada vez es más prioritario en las actuaciones de la Comunidad Europea: impedir la degradación del medioambiente al ser una vía indirecta de prevención de incendios forestales en zonas de gran importancia ecológica, como por ejemplo Parques Naturales protegidos (Valera *et al.* 2009b).

1.6.2.2. Caracterización morfológica

Según la FAO, para la fase II (caracterización racial), se debe realizar una caracterización morfológica (cualitativa y biométrica). Con ello se pretende crear, reglamentar y gestionar el libro genealógico de la raza (Jordana & Folch 1998).

Mediante la caracterización morfológica, aspiramos a la diagnosis racial, esto es, al encuadre del animal objeto de observación y estudio a un grupo etnológico diferenciado (García 2006). Diversos estudios anteriores en equinos ofrecen un punto de partida para la realización del presente estudio. Los trabajos realizados en las diferentes razas asnales españolas (García 2006), así como en las equinas Pura Raza Española (Aparicio *et al.* 1986), Poni Vasco-Pottoka (Pascual & Intxausti 1998), en las razas brasileñas Mangalarga Marchador (Coelho *et al.* 2004) y Campolina (Berbari 2005) y en caballos cárnicos españoles (Valera *et al.* 2008; Gómez *et al.* 2010), proporcionan la base metodológica a seguir, además de la comparativa.

La valoración morfológica de los individuos y de su descendencia constituye una práctica zootécnica imprescindible en el desarrollo de programas de mejora genética (Jordana & Folch 1998; Sánchez-Belda 2002; Araujo *et al.* 2004), aportando un método aplicativo de conocimientos para la catalogación de funcionalidades animales en un corto lapso de tiempo. En bovino de carne, por ejemplo, las medidas corporales han estado incluidas de forma rutinaria en los programas de selección, por su utilidad en la determinación de tendencias en la evolución de las razas, y en la implementación de estrategias de mejora genética, partiendo de valores económicos como la conformación de la canal (Araujo *et al.* 2004).

La importancia de los caracteres morfológicos en la reconstrucción de las relaciones entre diferentes 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. Sin embargo, los resultados obtenidos intentan tan sólo 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 estas poblaciones, siendo por tanto estas

fuerzas evolutivas las que habrían tenido un mayor peso en el proceso de diferenciación racial (Jordana & Parés 1999).

1.6.2.2.1. Etnología zootécnica

El estudio y mantenimiento de los recursos genéticos animales es una prioridad para muchos países, entendiendo que así contribuyen a solventar necesidades humanas y problemáticas del medio ambiente. Esta riqueza genética proviene principalmente de las razas autóctonas, la mayoría de las cuales aún requieren un estudio inicial, de tipo genético y productivo. Con este propósito, la etnología constituye una ciencia que permite profundizar en la caracterización de las razas tanto fenotípicamente como genéticamente, facilitando un conocimiento integrado (Hernández *et al.* 2002). La etnología zootécnica es la ciencia que estudia y clasifica en todos sus aspectos las poblaciones animales explotadas por el hombre, concretamente, aquellas agrupaciones de individuos con características morfológicas y productivas similares: razas (Sotillo & Serrano 1985).

Esta disciplina científica abarca, según Sotillo & Serrano (1985), la descripción de los caracteres morfológicos (plásticos y fanerópticos) y productivos (fisiológicos y fisiopatológicos) de los animales, la clasificación en agrupaciones raciales delimitadas por sus diferencias morfofuncionales y el estudio de los factores genéticos y ecológicos que determinan la forma y función que definen a la raza como grupo productivo eficaz.

Los caracteres etnológicos más importantes, y que reiteradamente hacemos objeto de apreciación biométrica, se obtienen principalmente de tres clases de medidas: alzadas, diámetros de longitud y anchura, y perímetros (Aparicio 1960). El proceso más comúnmente utilizado para clasificar las razas es mediante la comparación de sus semejanzas. Lo acertado sería conocer los orígenes históricos o los troncos comunes para, a partir de ahí, construir los patrones raciales de adscripción.

1.6.2.3. Caracterización genética

Dentro de la segunda fase expuesta por la FAO, se debe realizar una caracterización genética con marcadores moleculares (microsatélites, SNPs, ADN mitocondrial, *etc.*). Esta caracterización permite entre otras cosas: analizar los niveles de variabilidad genética de las poblaciones, obtener valores medios de consanguinidad, identificar genéticamente los individuos y realizar pruebas de control de paternidades e identificar a los individuos más idóneos para la programación de apareamientos. Durante las dos últimas décadas, se han realizado múltiples trabajos de caracterización de diferentes razas, análisis de la variación genética inter e intraracial y reconstrucción de su pasado evolutivo y de su relación con las poblaciones ancestrales (Bowling & Ruvinsky 2000; Groeneveld *et al.* 2010).

1.6.2.3.1. Variabilidad genética

La genética de poblaciones es el área en la que los marcadores microsatélites han demostrado un mayor interés, debido a que permiten estimar los niveles de variabilidad genética dentro de las poblaciones y analizar las relaciones genéticas existentes entre las mismas. Este tipo de estudios son de gran importancia para realizar estimaciones de la diversidad genética y de la consanguinidad existente en poblaciones de animales domésticos en peligro de extinción (Aranguren *et al.* 2005). En los estudios de genética de poblaciones, se realiza el cálculo de las frecuencias alélicas, de tal manera que se puede estimar las distancias genéticas entre poblaciones o entre individuos (Bowcock *et al.* 1994; Ponsuksili *et al.* 1999), así como también, realizar análisis filogenéticos y de estructura de la población.

Diversidad genética

La diversidad o variabilidad genética se puede definir como “la capacidad genética para variar”, y por ende, la capacidad a responder tanto a variaciones de índole ambiental (selección natural) como a cambios generados por un esquema de selección (selección artificial) (Aranguren *et al.* 2005). Existe una gran diversidad de estadísticos para cuantificar la variabilidad genética, y así se hace más comprensible la información en términos más manejables. Los estadísticos más empleados son: porcentaje de *loci* polimórficos (actualmente en desuso), el número medio de alelos por *locus* (NMA), la heterocigosis esperada (H_e) y observada (H_o) y el índice de contenido polimórfico (PIC) (Aranguren-Méndez *et al.* 2001, 2002).

El NMA indica el número medio de alelos que presenta una población para unos *loci* determinados. Aunque esta medida depende mucho del número de individuos analizados, ya que cuando el número es grande, mayor es la posibilidad de detectar alelos suplementarios. No obstante, este estadístico es útil para estudiar la existencia de variabilidad críptica en los *loci* (Aranguren *et al.* 2005).

La riqueza alélica, $A[g]$, es un parámetro muy informativo comúnmente utilizado como indicador de la diversidad de una población (Marshall & Brown 1975; Goudet 1995; Petit *et al.* 1998; Gutiérrez *et al.* 2005; Ollivier & Foulley 2005), y no se trata más que del número medio de alelos por *locus* en una población. Sin embargo, para poder comparar poblaciones entre sí en función de este indicador tendrían que tener tamaños muy parecidos, ya que es muy sensible al tamaño poblacional. Para evitar este sesgo se recurre al proceso de rarefacción (Hurlbert 1971; El Mousadik & Petit 1996; Kalinowski, 2005), de forma que, seleccionado un tamaño de muestra determinado, se corrige el número de alelos de cada población para ese mismo tamaño. Así, se puede calcular la riqueza alélica como

$$A[g] = \sum_i \left[1 - \left(\frac{N - N_i}{g} \right) \right]$$

donde g es el tamaño de muestra especificado, N es el número de copias alélicas muestreadas, y N_i el número de ocurrencias del alelo i dentro de los N muestreados.

Un concepto fundamental en los análisis genealógicos es el de la heterocigosis esperada (H_e) de una población, también llamada diversidad génica (GD), que definió Nei (1973) como la proporción de heterocigotos esperados bajo equilibrio genético Hardy-Weinberg.

$$GD = 1 - \sum p_i^2$$

Siendo p_i las frecuencias génicas de los diferentes alelos del *locus* en cuestión.

Para maximizar la diversidad genética en una población hay que conservar el mayor número posibles de alelos y que sus frecuencias estén equilibradas. Este concepto es diferente al de heterocigosis observada (H_o), que se define como la proporción de heterocigotos que realmente tiene la población.

El coeficiente de coascendencia, o coancestralidad, entre dos individuos x e y , es la probabilidad de que si tomamos al azar un alelo del individuos x y otro del individuo y sean idénticos por descendencia. La coascendencia media de una población en una generación es, bajo apareamiento aleatorio, la endogamia esperada de la siguiente. A menudo se necesita calcular la coascendencia de un individuo consigo mismo, llamada auto-coancestralidad (Caballero & Toro 2002; Gutiérrez *et al.* 2005).

El PIC es un indicador de la informatividad de un marcador en la población de acuerdo a las frecuencias de sus alelos. Para su cálculo se multiplica la probabilidad de cada posible cruzamiento (estimado a partir de las frecuencias alélicas) por la probabilidad que sean informativos, es decir, que se pueda identificar al progenitor del que procede el alelo (Botstein *et al.* 1980).

$$PIC = 1 - \left(\sum_{i=1}^k x_i^2 \right) - \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k 2x_i^2 x_j^2$$

Donde k es el número de alelos, x_i , x_j : frecuencia de los alelos i y j respectivamente.

Contribuciones de mínima coascendencia

Se basa en la idea de partida de que el parentesco entre dos individuos es una medida de la proporción de información genética que comparten, por ello, la información que porta un grupo de parientes cercanos es redundante. Se ha podido demostrar teóricamente, mediante simulación y experimentalmente, que la mejor estrategia en programas de conservación es minimizar la coascendencia promedio del grupo de reproductores que van a contribuir con genes a la siguiente generación, ponderada por el número de hijos que aportan a la siguiente generación (Ballou & Lacy 1995).

1.6.2.3.2. Estructura poblacional

Índices de fijación o estadísticos F de Wright

La teoría de los índices de fijación o estadísticos F fue concebida inicialmente por Sewall Wright (1939) y posteriormente desarrollada por otros autores (Chakraborty & Danker-Hopfe 1991). Wright propuso medir las desviaciones de frecuencias genotípicas en poblaciones subdivididas por medio de tres parámetros: F_{IS} , F_{IT} y F_{ST} . F_{IT} , mide la desviación de las frecuencias genotípicas observadas en la población total respecto a las esperadas considerando que existe equilibrio Hardy-Weinberg. F_{IS} , mide la desviación de las frecuencias genotípicas observadas en las subpoblaciones respecto a las esperadas considerando el equilibrio Hardy-Weinberg dentro de estas subpoblaciones. F_{ST} indica el grado de diferenciación genética entre las subpoblaciones. Los tres parámetros están relacionados mediante la siguiente ecuación:

$$F_{ST} = 1 - \frac{(1 - F_{IT})}{(1 - F_{IS})}$$

Las desviaciones del equilibrio Hardy-Weinberg se pueden deber a varias causas. Si hay un exceso de heterocigotos puede indicar la presencia de selección por sobredominancia o la existencia de cruzamientos entre poblaciones (migración). Un exceso de homocigotos puede ser debido a la existencia de un *locus* bajo selección, presencia de alelos nulos, consanguinidad en la población, subestructuración reproductiva de la población o efecto Wahlund. Con los estadísticos F se puede conocer la estructura poblacional tanto en situaciones en las que exista selección como en aquellas en que no haya, porque los términos se encuentran definidos por las frecuencias alélicas y genotípicas de la población en un momento concreto (Nei 1977).

Existe un estadístico alternativo a los estadísticos F de Wright, que son los llamados F de Weir y Cockerham, los cuales se designan como F , f y θ que corresponden a la F_{IT} , F_{IS} y F_{ST} de Wright, respectivamente. La diferencia de éstos radica en que introducen una corrección en su fórmula para no verse alteradas por errores de muestreo ni por el número de subpoblaciones, así se evita que los valores sean sesgados al emplear las varianzas de las frecuencias alélicas (Weir & Cockerham 1984).

1.6.2.3.3. Diferenciación genética

Distancias genéticas

El nivel en que dos poblaciones difieren en sus frecuencias alélicas recibe el nombre de distancia genética. Éstas ayudan a entender las relaciones existentes (evolutivas o no) entre poblaciones y permiten obtener información para la caracterización de las razas (Nagamine & Higuchi 2001). Se considera que son cuatro las fuerzas que pueden modificar la genética de las poblaciones: deriva genética, mutación, selección (natural o artificial) y migración. Los modelos para estudiar la divergencia entre dos poblaciones que descienden de una misma población ancestral se diseñaron originalmente para especies, y asumen una evolución independiente de cada población. Después de la especiación (el momento en que dos poblaciones se convierten en dos especies distintas), no existe, por definición, migración entre poblaciones, por lo que la migración se ignora en los modelos utilizados. Cuando se utilizan microsatélites se asume que la selección tampoco afecta a los cambios en las frecuencias alélicas de estos marcadores. Por lo tanto, la diversidad genética observada viene determinada por dos parámetros: deriva genética y, para periodos de tiempo largos, mutación. El modelo clásico de deriva genética y mutación se diseñó en principio para el estudio de relaciones entre especies, por lo que el periodo de tiempo que se estudia es largo por definición (miles de generaciones). Cuando se estudian razas, se estudian periodos de tiempo más cortos (cientos de años o menos), por lo que el efecto de la mutación se puede ignorar (Martínez 2008).

Algunas de las distancias genéticas más utilizadas son:

Distancia estándar de Nei (1972) (D_s):

$$D_s = -\ln \left(\frac{\sum_i x_i y_i}{\sqrt{\sum_i x_i^2 \sum_i y_i^2}} \right)$$

Distancia de Cavalli-Sforza (Cavalli-Sforza & Edwards 1967) (D_c):

$$D_c = (2/\pi) \sqrt{2 \left(1 - \sum_i \sqrt{x_i y_i} \right)}$$

Distancia de Nei (Nei *et al.* 1983) (D_A):

$$D_a = 1 - \sum_i \sqrt{x_i y_i}$$

Distancia mínima de Nei (1973) (D_m):

$$D_m = \frac{1}{2} \sum_i (x_i y_i)^2$$

Distancia de Reynolds (Reynolds *et al.* 1983):

$$D_{Reynolds} = \frac{1}{2} \frac{\sum_i (x_i y_i)^2}{1 - \sum_i x_i y_i}$$

No existe un consenso general sobre cuál de las distintas medidas de distancia genética es la más apropiada para el análisis de poblaciones dentro de especies, como es el caso de razas domésticas. No obstante, las correlaciones entre varias medidas de distancia son, generalmente, bastante altas (Nei & Graur 1984), particularmente cuando se aplican a poblaciones locales. La distancia estándar de Nei (Nei 1972) ha sido la más usada en estudios de evolución genética de poblaciones naturales. Las medidas de distancia basadas en el estadístico F_{ST} de Wright (Reynolds *et al.* 1983) son más apropiadas para procesos evolutivos a corto plazo como es el caso de divergencia entre razas o variedades, especialmente si el tamaño efectivo de las poblaciones varía en el tiempo y espacio (Vega-Pla *et al.* 2001).

Las matrices de distancia genética contienen toda la información que proporcionan los marcadores genéticos estudiados acerca de las relaciones entre las razas estudiadas, pero ésta es difícil de interpretar sin análisis adicionales. Los datos de distancia obtenidos se utilizan en análisis de agrupamiento y se realizan representaciones gráficas para facilitar la interpretación de los mismos. Los algoritmos más usados para construir dendrogramas son el UPGMA (*Unweighted Pair Group Method using Arithmetic Averages*) (Sneath & Sokal 1973) y el NJ (*neighbor-joining*) (Saitou & Nei 1987). Aunque este último parece ser superior cuando se supone en el modelo diferentes tasas de evolución (Eding & Laval 1999). Además, este algoritmo ha demostrado ser el más eficiente en la práctica cuando no todos los estadísticos se cumplen (Takahashi & Nei 2000). Nei *et al.* (1983), compararon diferentes métodos para construir árboles

filogenéticos mediante estudios de simulación y concluyeron que el UPGMA se comportaba bien cuando las tasas de sustitución eran las mismas para todas las ramas del árbol. Aunque para realizar un análisis con microsatélites para razas, las cuales han divergido hace muy poco tiempo, las distancias más apropiadas son D_A y $D_{Reynolds}$, graficado con el algoritmo NJ (Takezaki & Nei 1996).

El número de posibles topologías se incrementa rápidamente conforme aumenta el número de poblaciones (m). En el caso de los árboles con raíz (enraizados):

$$\text{Número de topologías} = \frac{[(2m-3)!]}{2^{m-2}(m-2)!}$$

Esto indica que el número de topologías para $m=2, 3, 4, 5$ y 6 son 1, 3, 15, 105 y 945 respectivamente (Nei & Kumar 2000). Para el caso de árboles sin raíz (no enraizados), se sustituye m por $m-1$. Es muy difícil encontrar la topología verdadera cuando m es grande.

Los métodos de remuestreo son técnicas estadísticas que permiten dibujar múltiples árboles y estimar la fiabilidad para los diferentes nodos en el árbol, así como el nivel de confianza del árbol (Weir 1990). Existen tres métodos principales de remuestreo: *bootstrapping*, Jackknife y permutación de caracteres.

Otros análisis alternativos a las distancias genéticas son los análisis de cluster. Tradicionalmente, los estimadores de las distancias genéticas disponen, *a priori*, a los individuos en poblaciones concretas. Recientemente, se han desarrollado otros métodos para tratar de dividir la muestra total de genotipos de la población en un número definido de subpoblaciones (o clusters). Esto permite reorganizar los datos y conformar una nueva estructura poblacional. Los individuos son asignados (probabilísticamente) a poblaciones, o conjuntamente a dos o más poblaciones si sus genotipos muestran que han sido mezclados. Los algoritmos están basados en genotipos multi-*locus* y son resueltos mediante aproximaciones Bayesianas usando el método de Cadenas de Markov y Monte Carlo (Toro *et al.* 2009). Varios programas han sido desarrollados, entre ellos: STRUCTURE (Pritchard *et al.* 2000), PARTITION (Dawson & Belkhir 2001) y BAPS (Corander *et al.* 2003).

1.6.2.3.4. Priorización en la conservación de poblaciones

La diversidad genética es un valor en sí mismo, y su mantenimiento es un objetivo prioritario en los programas de conservación de biodiversidad (Fernández *et al.* 2004). Poseer un amplio margen de recursos genéticos garantiza la adaptación y viabilidad de una raza (o especie) a entornos de producción variables (Gandini & Oldenbroek 2007). El problema de la priorización en la conservación se ha abordado desde diferentes enfoques basados en el análisis de diversidad genética estimada a partir de marcadores genéticos (Boettcher *et al.* 2010). Se han analizado distintos métodos basados en las distancias genéticas para determinar las prioridades en las estrategias de conservación de las poblaciones. Weitzman (1992, 1993) sugirió definir la diversidad esperada después de un determinado tiempo, basándose en la probabilidad de extinción de cada elemento de un conjunto considerado. Este método fue posteriormente desarrollado por d'Arnoldi *et al.* (1998), quienes describen el algoritmo para computar la función de diversidad de Weitzman. Posteriormente Caballero & Toro (2002) pusieron de manifiesto los inconvenientes del método de Weitzman cuando se pretende aplicar a la conservación de razas dentro de especies, porque ignora la diversidad dentro de razas y no tiene en cuenta los diferentes censos y tamaños efectivos de cada raza (Rodero *et al.* 2005). Así, Caballero & Toro (2002), a partir de ADN de microsatélites, emplearon la heterocigosis media esperada dentro de razas como una medida de la diversidad que permite calcular la contribución de cualquier raza a la diversidad global de un grupo de razas. Además, se puede obtener la proporción aportada por cada población a la diversidad entre razas y la existente dentro de cada raza, definiendo la “diversidad agregada” como una combinación de la contribución relativa de ambas (diversidad entre razas (GD_{BS}) y diversidad dentro de razas (GD_{WS})).

La diversidad total (GD_T) puede ser considerada como la suma exacta de la diversidad entre razas (GD_{BS}) y la diversidad dentro de las razas (GD_{WS}), considerando las siguientes ecuaciones:

$$GD_T = 1 - \sum_i \sum_j f_{ij} / n^2$$

$$GD_{WS} = 1 - \sum_i s_i / n$$

$$GD_{BS} = \sum_i \sum_j D_{ij} / n^2$$

donde n es el número de poblaciones, f_{ij} es la coancestralidad promedio entre las poblaciones i y j , y D_{ij} es la distancia mínima de Nei (1973) entre las poblaciones i y j . La contribución de una determinada población a la diversidad global se evalúa analizando la pérdida o ganancia de diversidad $GD_{T|i}$ cuando dicha población es removida.

Caballero & Toro (2002), además, proponen evaluar la contribución, c_i , de cada población, la cual podría maximizar la diversidad total para la siguiente generación (GD_{POOL}):

$$GD_{POOL} = 1 - \sum_i c_i \left[s_i - \sum_j D_{ij} c_j \right]$$

Si sólo considerásemos la diversidad entre razas, el método de Weitzman (1992) podría ser el más apropiado; sin embargo, para interpretar a ambas (entre y dentro), se tiene que emplear el método ponderado. En los planes de conservación la varianza entre razas sería el factor más ponderado, pero para planes de creación de razas sintéticas, o para trabajar en la mejora de razas de gran tamaño que no están en peligro, la diversidad dentro de razas sería el elemento preferente (González 2007). El grado de ponderación debería adaptarse a las particularidades de cada situación (Bennewitz *et al.* 2007).

1.6.2.3.5. Marcadores moleculares

Los marcadores moleculares son una herramienta necesaria en muchos campos como la biología evolutiva, ciencias forenses, medicina, ecología y genética de poblaciones. Además, se utilizan para rastrear e identificar genes de interés. Hoy día, existen varias técnicas moleculares que permiten conocer las variantes alélicas de genes en las poblaciones naturales (o razas), tanto de manera indirecta, p.e. con los análisis de proteínas, o de manera directa con estudios de ADN. Los diferentes tipos de marcadores (Isoenzimas, RAPDs, RFLPs, ADNmt, etc.) se distinguen por su capacidad de detectar polimorfismos en los diferentes *loci* (Simpson 1997).

Isoenzimas/Aloenzimas

Las isoenzimas fueron originalmente definidas como formas moleculares múltiples de las enzimas que tienen funciones idénticas o similares y están presentes en el mismo individuo (Market & Moller 1959). Las isoenzimas pueden presentar varias formas alélicas, conocidas como aloenzimas. Se utilizaban como marcadores hereditarios para cuantificar las frecuencias alélicas y genotípicas. La aplicación de las isoenzimas estaba dirigida a la cuantificación de heterocigosis, diversidad genética, diferenciación genética y otras medidas de variación genética intra e interpoblacional.

RAPDs

Los RAPDs (polimorfismos de ADN amplificados al azar) segmentos de ADN amplificados aleatoriamente con marcadores que se pueden usar en una gran variedad de especies. Los RAPDs se basan en la probabilidad estadística de que se presenten sitios complementarios entre el ADN y un oligonucleótido de 10 pares de bases (pb) a lo largo del genoma. El polimorfismo de las bandas varía según los sitios de acoplamiento del oligonucleótido y por inserciones o deleciones de los fragmentos en estos sitios (Williams *et al.* 1990). Estos marcadores son dominantes por lo que la estimación de las frecuencias alélicas se debe hacer de manera indirecta, asumiendo equilibrio de Hardy-Weinberg. Este tipo de marcadores es útil para la elaboración de mapas genéticos, en el estudio de parentesco y en el análisis de la estructura poblacional (tamaño efectivo, aislamiento reproductivo). Dado el gran polimorfismo que detectan, una de sus mejores aplicaciones es la identificación genética de individuos (Parker *et al.* 1998).

RFLPs

El análisis de polimorfismos de la longitud de los fragmentos de restricción (RFLPs) fue el primer marcador de ADN utilizado por biólogos poblacionales (Parker *et al.* 1998). Este método expresa diferencias específicas del ADN que fueron reconocidas por enzimas de restricción particulares (endonucleasas). Cada una de las endonucleasas reconoce y corta solamente una secuencia específica de bases nitrogenadas en el ADN. Por consiguiente cualquier ADN que no esté metilado puede ser reconocido y cortado en fragmentos de longitud definida; y cualquier mutación dentro de estos sitios, podría cambiar el patrón del fragmento y permitir que se detecte un RFLP al comparar dos o más genomas (Valadez & Kahl 2000).

Secuenciación de ADN

Los análisis más detallados de diferenciación genética pueden obtenerse secuenciando la región de interés para diferentes individuos. Actualmente la secuenciación es muy común: se ha aplicado en estudios de genética de poblaciones y para resolver problemas taxonómicos. Los estudios utilizan habitualmente tanto secuencias de ADN mitocondrial (ADNmt), que pueden ser usadas para la reconstrucción de eventos pasados concernientes al linaje materno, como regiones nucleares, a partir de los cuales se pueden identificar SNPs (*Single Nucleotide Polymorphisms*) dentro y entre taxones.

ADN mitocondrial

Se trata de una molécula de ADN circular que se encuentra presente en unas organelas subcelulares denominadas mitocondrias, de un tamaño entre 15-20 kb y compuesta por 37 genes. La tasa de mutación de algunas zonas del ADN mitocondrial es muy alta y esto ha hecho que se haya empleado en numerosas ocasiones para analizar la estructura de poblaciones (Avice 1994). Esta molécula carece de tasa de recombinación y se transmite exclusivamente por vía materna, de ahí que el número de diferencias nucleotídicas entre el genoma mitocondrial sea reflejo directo de la distancia genética que separa los linajes maternos (Xu & Arnason 1994). Cuando se ha usado como medidor de diversidad genética entre poblaciones, esta herencia materna ha permitido inferir patrones de migración, tiempos de expansión, etc., sin embargo, su poder de discriminación es muy inferior al de otros marcadores genómicos.

SNPs

Se trata de cambios puntuales en las posiciones nucleotídicas de la secuencia de ADN. Para que un cambio nucleotídico sea considerado como un SNP es necesario que la frecuencia del alelo menos frecuente sea al menos del 1%. Los SNPs son una alternativa a los microsatélites en la construcción de mapas genéticos. Los SNPs presentan ventajas y desventajas con respecto a los microsatélites: se ha estimado que son necesarios 5 SNPs para equiparar la información que proporciona un microsatélite, lo que significa que son necesarios 2000 SNPs para estudiar los 10 cM que permite estudiar un microsatélite (Lai *et al.* 1998).

Microsatélites

Los microsatélites son secuencias cortas y repetitivas de ADN formadas de 1 a 6 pares de bases (mononucleótidos, dinucleótidos o tetranucleótidos). Estos *loci* se encuentran en regiones codificantes y no codificantes del ADN y se cree que se forman por desplazamientos de secuencia durante la replicación del DNA; además, pueden generar polimorfismos con valores superiores al 90% (Armour *et al.* 1994). Los microsatélites de ADN nuclear han sido detectados en múltiples grupos de plantas y animales, y han sido utilizados fundamentalmente para estudios de variación genética intra e interespecífica, análisis de linajes y de sistemas reproductivos (Queller *et al.* 1993). Además, permiten resolver cuestiones evolutivas relacionadas con el monitoreo del flujo génico, introgresión, para determinar patrones evolutivos de los procesos históricos del origen de especies o razas y para hacer inferencias de parámetros demográficos (Goldstein *et al.* 1996, Aranguren *et al.* 2005).

Por otro lado, los microsatélites permiten realizar estimaciones de los niveles de consanguinidad (individual y poblacional) y, por tanto, se podrían planificar los apareamientos de animales menos emparentados para evitar el incremento endogámico dentro de la población. Más aún, los microsatélites poseen un nivel de discriminación alto, pudiéndose confirmar paternidades aducidas con hasta un 99,99% de fiabilidad (a mayor número de *loci* mayor será el nivel de discriminación) (Bomcke *et al.* 2011). De igual manera, gracias al poder de discriminación, se puede realizar una aplicación directa a la trazabilidad molecular (Fries & Durstewitz 2001), es decir la posibilidad, cada día más utilizada por la demanda de los consumidores, de determinar la pertenencia de un producto cárnico a una determinada raza e incluso a un determinado individuo de la población.

Cromosoma Y

La zona no recombinante del cromosoma Y, como su nombre indica, no recombina con el cromosoma X y, por lo tanto sólo se transmite por herencia paterna. El estudio de la variabilidad existente en el cromosoma Y puede registrarse por medio de diferentes marcadores genéticos (SNPs, microsatélites, etc.). Un objetivo habitual de este cromosoma es estimar el número de ancestros masculinos en determinadas poblaciones, lo que nos puede dar idea de cuales han sido los patrones migratorios de los machos en las poblaciones bajo estudio (Ward *et al.* 2001).

1.6.2.4. Enfermedades congénitas

En el caballo (*Equus caballus*), específicamente en la raza Purasangre Inglés, se han secuenciado aproximadamente 2700 millones de pares de bases de ADN, correspondiendo al 100% del genoma (www.uky.edu/Ag/Horsemap). De esta manera se hace posible identificar mutaciones responsables de la variación fenotípica, incluyendo las enfermedades congénitas que afectan a los caballos. Por lo general, los polimorfismos se encuentran en regiones no codificantes del genoma con lo que se espera no alteren el producto de ningún gen. Sin embargo, pueden producirse mutaciones en regiones codificantes (polimorfismos exónicos) que no afectan a la expresión génica (en su mayoría son polimorfismos donde varía un solo nucleótido) o que afectan al producto generando un fenotipo alterado. Básicamente existen dos tipos de polimorfismos: los que derivan de la sustitución de un nucleótido por otro y los que derivan de la inserción o delección de secuencias de ADN. En estos últimos distinguimos dos subtipos: las inserciones o delecciones de fragmentos de ADN, como las secuencias *Alu* (Terreros *et al.* 2005) y las repeticiones de secuencias de uno o más nucleótidos.

1.6.2.4.1. La Epidermólisis Bullosa

La Epidermólisis Bullosa o JEB (por sus siglas en inglés *Junctional Epydermolysis Bullosa*) es una enfermedad genética de carácter autosómico recesivo, que afecta a algunas razas de caballos pesados, como Bretones, Comtois y Belgas, además de los caballos American Saddlebred (Frame *et al.* 1988; Kohn *et al.* 1989; Lieto *et al.* 2002; Milenkovic *et al.* 2003). La enfermedad también ha sido nombrada como Epiteliogénesis Imperfecta o desorden *Hereditary Junctional Mechanobullous Disease*. La JEB presenta un cuadro clínico que corresponde a la variante severa de Herlitz de la JEB en medicina humana. Ésta está provocada por la ausencia de la proteína laminina 5 que juega un importante papel en la unión de la dermis y la epidermis. Concretamente, la laminina 5 es una de las proteínas que intervienen en la unión de la lámina lúcida con la lámina densa de la lámina basal. Esta proteína está formada por tres subunidades $\alpha 3$, $\beta 3$ y $\gamma 2$ codificadas por tres genes (*LAMA3*, *LAMB3* y *LAMC2*). La enfermedad puede estar causada por mutaciones en cualquiera de los tres genes. La carencia de laminina 5 provoca puntos de ruptura entre las láminas y la formación de vesículas, que causan la erosión del tejido cutáneo. Los potros afectados desarrollan lesiones severas del epitelio cutáneo que se infecta rápidamente y, generalmente, mueren a los pocos días.

Normalmente, se realiza la eutanasia a los pocos días de nacer para evitar su sufrimiento.

Spirito *et al.* (2002), describieron la mutación causal en la raza del caballo Belga. Se detectó la presencia de la inserción de una citosina en uno de los exones de la subunidad $\gamma 2$ de la laminina 5 y que corresponde a la posición 1368 del ARNm. Esta inserción (1368insC) provoca un desplazamiento en el marco de lectura de la secuencia de la subunidad $\gamma 2$, con la aparición de un codón de terminación prematura durante la síntesis del ARNm. Al estar incompleta, la subunidad $\gamma 2$ no puede interactuar con las demás subunidades $\alpha 3$ y $\beta 3$, impidiendo la formación de la laminina 5 y de los complejos de filamentos de anclaje. La JEB tiene un patrón hereditario autosómico recesivo. Los animales portadores (con un alelo normal y otro mutante) no desarrollan la enfermedad. Sólo los animales homocigotos para el alelo mutante están afectados de JEB.

La JEB se ha observado en otras razas equinas que comparten un mismo origen o que han recibido la influencia de un flujo génico reciente, teniendo más probabilidades de ser portadores de la misma mutación. La inserción de una citosina en el exón 10 de la subunidad $\gamma 2$ es la mutación causal de casos JEB en caballos de razas Belga (Spirito *et al.* 2002), Bretón y Comtois (Milenkovic *et al.* 2003). En Norte América, el 17% de los caballos Belgas eran portadores de la mutación y en Europa del 8 al 27% de caballos de razas pesadas como el Bretón, Comtois, Vlaams Paard, y Belgische Koubloed Flander (Baird *et al.* 2003). Por otro lado, en los caballos de la raza American Saddlebred los casos de JEB estuvieron provocados por mutaciones en el gen *LAMA3* (Lieto & Cothran 2003), probablemente, debido a una delección parcial de 6589 pb (Graves *et al.* 2008).

OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

El objetivo general de esta tesis es asentar las bases de los futuros programas de conservación y mejora de la raza equina Cavall Pirinenc Català (CPC), ejecutando la primera parte de los objetivos globales que se plantean dentro del esquema expuesto en el protocolo de la FAO (1992), para la conservación de poblaciones en peligro de extinción.

De manera específica:

1. Caracterizar estructuralmente la población equina de CPC localizada en diferentes comarcas pirenaicas a través de una encuesta elaborada con diversos apartados, referentes a: datos del titular y la explotación (tanto dentro de la explotación como en la montaña); datos históricos, sociales y generales; censo del ganado; manejo y estructura del rebaño; plan de cría y reproducción; datos de producción; plan de alimentación; e historial y manejo sanitario.
2. Caracterizar morfológicamente, tanto a nivel cuantitativo como cualitativo, la población CPC, mediante el estudio de 30 variables morfológicas, 5 índices corporales y 13 índices de aptitud, analizando asimismo el efecto de los factores comarca y sexo sobre estos parámetros. Además, analizar la documentación visual (fotos y videos) del CPC para determinar los caracteres fanerópticos típicos de la raza. Todo esto para desarrollar una propuesta de estándar racial y poder crear y reglamentar así el Libro Genealógico de la raza.
3. Caracterizar genéticamente el CPC con marcadores de tipo microsatélite para analizar tanto a nivel intrarracial como interracial, la estructura genética, el nivel de variabilidad genética, la consanguinidad y las relaciones genéticas existentes con otras razas de aptitud cárnica.
4. Obtener las frecuencias alélicas para la mutación 1368insC en la subunidad $\gamma 2$ de la laminina 5 responsable de la Epidermólisis Bullosa, o JEB, dentro de la población de machos y hembras del CPC.

MATERIALES Y MÉTODOS

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo, llevado a cabo sobre la población equina cárnica “Cavall Pirinenc Català” (CPC), se ha realizado en el marco del convenio que la *Universitat Autònoma de Barcelona* mantiene con el *Departament d’Agricultura, Alimentació i Acció Rural* de la Generalitat de Catalunya, para el estudio y promoción de esta raza equina. Asimismo, se enmarca, en un ámbito más amplio, dentro del Proyecto de Investigación del equino de carne INIA RZ2004-00023 (*“Evaluación de los recursos genéticos equinos de aptitud cárnica en peligro de extinción: caracterización, desarrollo de estrategias que minimicen el parentesco y la erosión genética y diseño y creación de un banco de germoplasma”*), en el cual participamos como integrantes del grupo de la *Universitat Autònoma de Barcelona*, conjuntamente con investigadores de: Universidad de Sevilla, INIA de Madrid, ITG de Navarra, Universidad Complutense de Madrid y Universidad de León. Por ello, queremos hacer mención que todos los datos y resultados que aparezcan a continuación en esta Tesis Doctoral referentes a las razas equinas: Jaca Navarra, Caballo de Burguete e Hispano-Bretón, se han obtenido en el marco del proyecto INIA (diferentes investigadores e instituciones) pero que han sido utilizados por nosotros para comparar y referenciar la población objeto del presente estudio: el “Cavall Pirinenc Català”.



Cavall Pirinenc Català

La toma de muestras de pelo (para los análisis genéticos), las medidas zoométricas y las encuestas fueron realizadas en las comarcas: Val d'Aran (VA), Alt Urgell (AU), Cerdanya (CE), Pallars Jussà (PJ), Pallars Sobirà (PS), Alta Ribagorça (AR) y Ripollès (RI) pertenecientes a la Comunidad Autónoma de Catalunya, España (Figura 2).



Figura 2. Localización geográfica comarcal del Cavall Pirinenc Català

3.1. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS EXPLOTACIONES EQUINAS DEL CAVALL PIRINENC CATALÀ

3.1.1. Encuesta

Se tomó como referencia la encuesta elaborada para el proyecto de caballos de carne INIA RZ2004-00023 y que constaba de 91 preguntas divididas en cuatro bloques, las cuales han permitido analizar la información del sector equino cárnico de una manera amplia y global (Anexo 4; Valera *et al.* 2008).

Para ello, se muestrearon de forma aleatoria 90 ganaderos, repartidos proporcionalmente entre las siete comarcas pirenaicas donde se ubica la raza: Val d'Aran (n=19), Alta Ribagorça (n=12), Pallars Jussà (n=8), Alt Urgell (n=10), Pallars Sobirà (n=14), Cerdanya (n=12) y Ripollès (n=15).

En los bloques se preguntó lo siguiente:

- Bloque I. Datos del titular y explotación:
 - o Edad del criador
 - o Actividad principal del criador
 - o Años de explotación
 - o Posible continuidad familiar
 - o Membresía a una asociación de criadores
 - o Razas equinas explotadas
 - o Razón por la cual tiene explotación de caballos de carne
 - o Razón por la cual explota este tipo de raza
 - o Idoneidad de la raza a la zona
- Bloque II. Datos Históricos, Humanos y Generales:
 - o Tiempo histórico de la explotación de esta raza
 - o Otras especies explotadas
 - o Cría de otras razas en el pasado
 - o Trabajadores fijos o eventuales dentro de la explotación
 - o Frecuencia y motivos de visita del veterinario cada año
 - o Explotación dentro de parque natural
 - o Explotación integrada dentro de una empresa (cooperativa)
 - o Dependencia de ayudas agrarias
 - o Valoración del rendimiento económico de la producción ganadera

- Bloque III. Manejo del ganado:
 - Fase de producción
 - Estructura del rebaño
- Bloque IV. Plan de Cría y Reproducción:
 - Tipo de cubrición
 - Procedencia de sementales y yeguas
 - Potros nacidos anualmente
 - Potros muertos
 - Tipo de comprador
 - Alimentación base
 - Enfermedades frecuentes

Las encuestas se realizaron mediante entrevistas personales a los titulares de las explotaciones, con una duración aproximada de 45 minutos, durante el periodo que va de Julio-2005 a Mayo-2006. El orden de las respuestas de la encuesta se alteró en los apartados de resultados y discusión, para dar mayor continuidad y concisión a los temas analizados.

3.1.2. Análisis estadísticos

El análisis de los datos fue llevado a cabo con el programa EXCEL® y el paquete estadístico SAS v.8.2 (SAS Inst., Cary, N.Carolina, USA). Para las variables (no paramétricas) se obtuvieron las frecuencias porcentuales en los casos en que se estimó necesario. Los análisis se realizaron de forma independiente por comarcas (Val d'Aran, Alt Urgell, Cerdanya, Pallars Jussà, Pallars Sobirà, Alta Ribagorça y Ripollès) y de forma global.

Para comparar con las distintas razas equinas cárnicas españolas (Jaca Navarra, Caballo de Burguete e Hispano-Bretón) se tomó como referencia el Informe Final del Proyecto INIA RZ2004-00023 (Valera *et al.* 2008).

3.2. CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DEL CAVALL PIRINENC CATALÀ

Para realizar el estudio morfométrico se muestrearon un total de 148 individuos adultos (>3 años), de los cuales 128 eran hembras y 20 machos. El muestreo se realizó de forma aleatoria en las siete comarcas pirenaicas donde se ubica la raza. Con ello se pretendía valorar las diferencias del medio sobre el morfotipo, analizando la variabilidad morfológica intrarracial. Se tomaron para ello 30 medidas morfométricas, realizadas siempre por la misma persona con el animal aplomado correctamente, mediante bastón zoométrico y cinta métrica, distribuidos de la siguiente manera: Val d'Aran (h=16; m=1), Alta Ribagorça (h=23; m=2), Pallars Jussà (h=11; m=1), Alt Urgell (h=14; m=1), Pallars Sobirà (h=16; m=1), Cerdanya (h=29; m=9) y Ripollès (h=19; m=5). Se analizó la influencia de los efectos sexo y comarca sobre estas variables. El efecto comarca únicamente se valoró para la población de hembras, debido al reducido número de sementales que se pudieron medir, por problemas logísticos y de manejo.

Con toda la información recabada, y los resultados posteriormente obtenidos, se redactó una propuesta de estándar racial para la población, complementada a partir de datos bibliográficos existentes, de las observaciones personales obtenidas *in situ* y del análisis de material fotográfico y de vídeos (Anexo 1).

3.2.1. Material para la toma de medidas

Para la toma de las medidas fue necesario:

- Cinta métrica: inextensible, flexible, con unidad de medida según el sistema métrico decimal.
- Bastón zoométrico: consiste en un bastón hueco, con un puño en ángulo recto y en cuyo interior hay contenido un tubo metálico (graduado en cm) de modo que al tirar del puño se desliza hasta alcanzar una longitud doble del bastón. Este tubo más delgado lleva en su extremidad superior una varilla que se coloca perpendicularmente al eje del bastón, al igual que otra segunda varilla que tiene dos posiciones donde colocarse (Figura 3).



Figura 3. Bastón zoométrico.

3.2.2. Variables zoométricas

Para la toma de las medidas de alzada, se anotaron las distancias perpendiculares desde cada una de las regiones, en sus puntos de referencia, a la línea horizontal del suelo, estando el animal “cuadrado”, es decir, descansando simétricamente sobre las cuatro extremidades, y en posición normal, sin desplazarse en ningún sentido, ni desviando su centro de gravedad (en lo posible, debido a que muchos de los animales se ubican en la montaña). Esto se consigue haciendo que los dos cascos de cada extremidad descansen juntos y con sus lumbares al mismo nivel. Las referencias anatómicas para cada variable, y la posterior definición de los índices zoométricos y sus valores de referencia, son aquéllos descritos para la especie equina por: Aparicio (1960, 1974), Sotillo & Serrano (1985), Oom & Costa-Ferreira (1987), Hevia *et al.* (1993), Folch & Jordana (1997), Parés (2009a).

Medidas tomadas (Figuras 4, 5, 6, 7 y 8):

- Alzada a la cruz (ALC): distancia, con bastón zoométrico, desde el punto más alto de la cruz (punto más culminante de la región interescapular (3ª y 4ª apófisis espinosa de las vértebras torácicas) hasta el suelo en vertical.
- Alzada al punto más bajo de la cruz (ALPC): distancia con bastón zoométrico, desde el punto más bajo de la cruz hasta el suelo en vertical.

- Alzada a la mitad del dorso (ALMD): medida, con bastón zoométrico, de la distancia existente desde la zona media de la región del dorso (punto medio dorsal entre la cruz y la región lumbar (apófisis espinosa de la 12^a – 13^a vértebra dorsal) hasta el suelo, en una perpendicular imaginaria que sería tangente al perímetro máximo del vientre.
- Alzada anterior de la grupa (ALNG): medida, con bastón zoométrico, de la distancia que existe desde el suelo, al punto de unión de los lomos con la grupa.
- Alzada al nacimiento de la cola (ALNC): distancia, con bastón zoométrico, de la perpendicular desde el suelo al maslo o base de la cola; punto de unión (dorsal) de la cola al tronco (a nivel del 4^o hueso coccígeo).
- Alzada posterior de la grupa (ALPG): distancia, con bastón zoométrico, desde la parte dorsal de la grupa hasta el suelo.

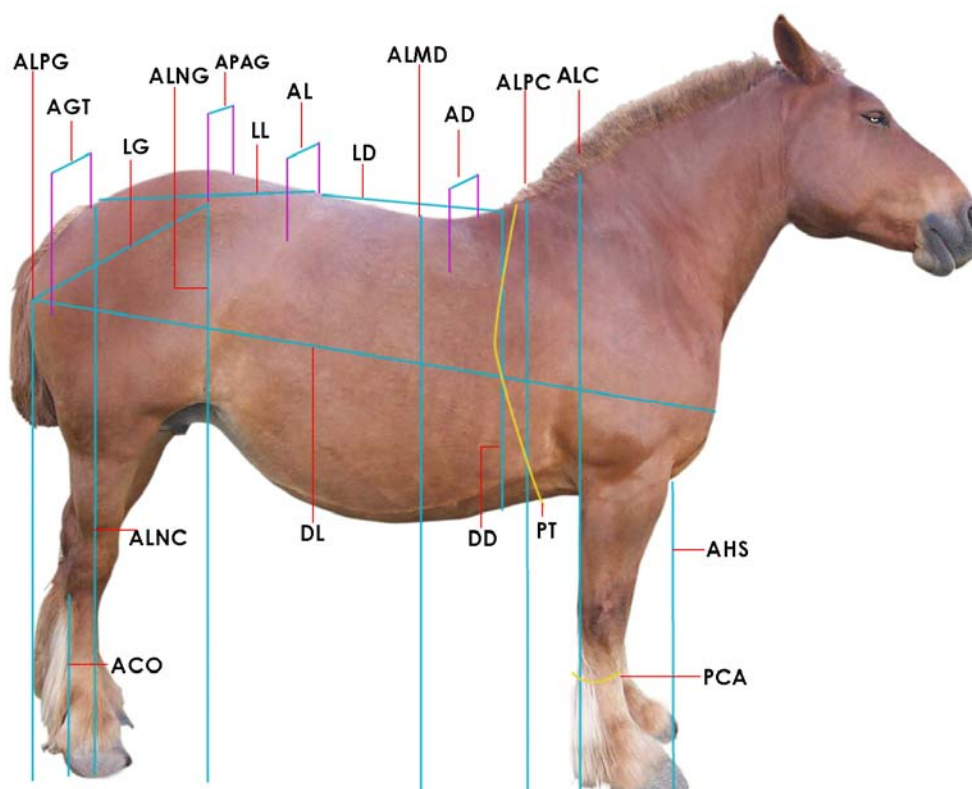


Figura 4. Parámetros biométricos analizados en el CPC. ALC (alzada a la cruz), ALPC (alzada al punto más bajo de la cruz), ALMD (alzada a la mitad del dorso), ALNG (alzada anterior de la grupa), ALNC (alzada al nacimiento de la cola), ALPG (alzada posterior de la grupa), APAG (anchura porción anterior de grupa), AGT (anchura de grupa en trocánteres), DD (diámetro dorso-esternal), DL (diámetro longitudinal), ACO (altura al corvejón), LD (longitud del dorso), LL (longitud del lomo), AD (anchura de dorso), AL (anchura de lomo), y PCA (perímetro de la caña anterior).

- Anchura de pecho (AP): distancia, con bastón zoométrico, entre los puntos más craneales y laterales de los encuentros.

- Anchura de pecho por fuera (APF): en el mismo eje que el anterior sólo que se toma en la parte más exterior del músculo.
- Altura al hueco subesternal (AHS): medida realizada con bastón zoométrico, determina la distancia comprendida entre el suelo y la cara inferior de la región esternal en la zona interaxilar.
- Diámetro bicostal (DB): distancia entre ambos planos costales, tomando como referencia los límites de la región costal, es decir, anchura máxima de la región torácica a nivel del arco de la 5ª costilla.

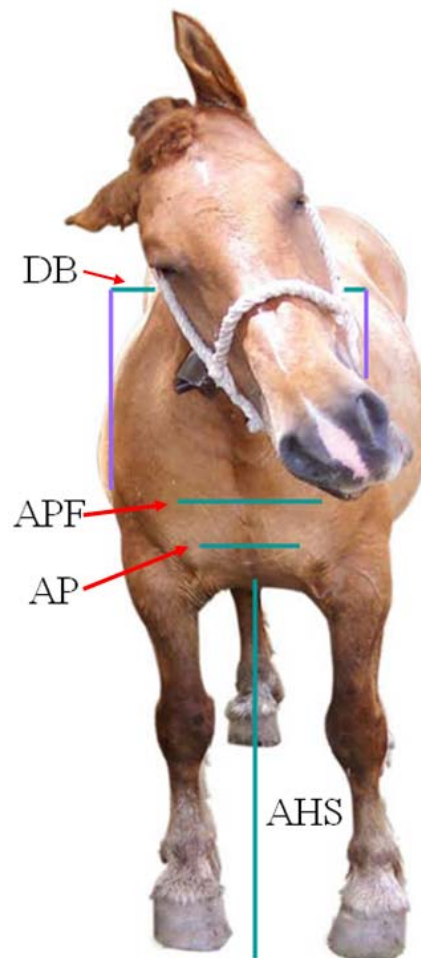


Figura 5 Detalle de la parte frontal del caballo. DB (diámetro bicostal), AP (anchura de pecho), APF (anchura de pecho por fuera), AHS (altura al hueco subesternal).

- Anchura porción anterior de grupa (APAG): distancia, con bastón zoométrico, entre las puntas de las ancas.
- Anchura de grupa en trocánteres (AGT): distancia, con bastón zoométrico, entre los trocánteres

- Anchura porción posterior de grupa (APG): distancia, con bastón zoométrico, comprendida entre las puntas de las nalgas



Figura 6. Detalle de la parte posterior del caballo. APG (anchura porción posterior de grupa).

- Diámetro dorso-esternal (DD): distancia entre el punto más bajo de la cruz (el punto más culminante interescapular) y el punto de mayor curvatura del esternón (a nivel del olécranon). Se mide con el bastón fijando la varilla movable en la parte superior.
- Diámetro longitudinal (DL): también denominado diámetro escápulo-isquial. Es la distancia existente entre el punto más craneal y lateral de la articulación del húmero y el punto más caudal de la nalga (ilio-isquiático). Se toma con ayuda del bastón zoométrico fijando la varilla movable en el extremo inferior del bastón.
- Longitud de cabeza (LC): distancia, con bastón zoométrico, entre el punto más culminante del occipital (nuca) y el más rostral o anterior del labio maxilar.
- Longitud de cráneo (LCR): distancia, con bastón zoométrico, entre el punto más prominente de la nuca y el punto medio de la línea que une los arcos zigomáticos.
- Longitud de cara (LH): distancia, con bastón zoométrico, entre el punto medio de la línea que une los arcos zigomáticos y el punto más rostral del labio maxilar.
- Anchura de cabeza (AC): distancia máxima, con bastón zoométrico, entre los puntos más salientes de los arcos zigomáticos.

- Anchura de cráneo (ACR): medida, con bastón zoométrico, entre los puntos inmediatamente superiores de la apófisis coronoides de las ramas mandibulares (externamente quedan en la base de las orejas).
- Anchura de cara (AH): en los équidos es la distancia máxima entre ambas crestas malares o faciales tomada con bastón zoométrico.

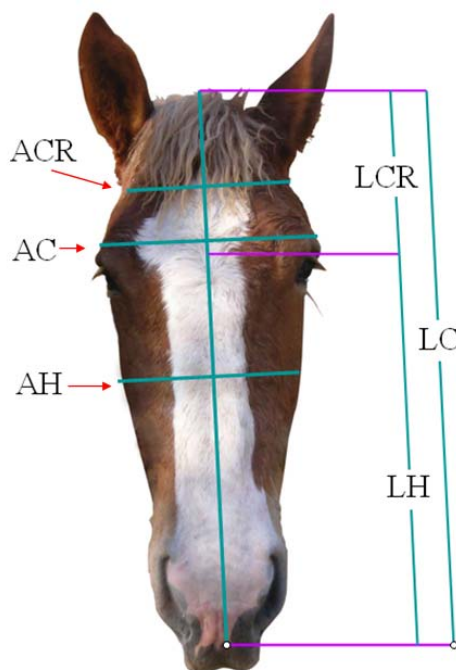


Figura 7. Detalle frontal de la cabeza. LC (longitud de cabeza), LCR (longitud de cráneo), LH (longitud de cara), AC (anchura de cabeza), ACR (anchura de cráneo), AH (anchura de cara).

- Profundidad de cabeza (PH): distancia máxima, con bastón zoométrico, entre la capa anterior del frontal y el punto de inflexión (máxima convexidad) de la rama mandibular.



Figura 8. Detalle lateral de la cabeza. PH (profundidad de cabeza).

- Longitud de la grupa (LG): distancia, con bastón zoométrico, existente entre la punta del anca (tuberosidad ilíaca externa) y la punta del isquion; distancia entre el punto más saliente (lateral) de la tuberosidad coxal y el punto más caudal de la nalga (ilio-isquiático).
- Altura al corvejón (ACO): distancia, con bastón zoométrico, existente entre el suelo y la porción más alta del corvejón.
- Longitud del dorso (LD): distancia, con bastón zoométrico, existente entre la paletilla y la punta del ileon.
- Longitud del lomo (LL): distancia, con bastón zoométrico, existente entre las apófisis transversales de las vértebras lumbares.
- Anchura de dorso (AD): distancia, con bastón zoométrico, de la musculatura dorsal justo detrás de las paletillas.
- Anchura de lomo (AL): distancia, con bastón zoométrico, entre las apófisis transversales de las vértebras lumbares.
- Perímetro de la caña anterior (PCA): Perímetro máximo de la caña entre el tercio medio y el superior.
- Perímetro torácico (PT): Parte del punto más declive de la cruz para pasar por la región esternal, en el punto situado inmediatamente detrás del codo, y llegar nuevamente al punto de origen o salida.

3.2.3. Índices zoométricos

El relacionar las diferentes medidas zoométricas de un animal puede ser de utilidad a efectos de su clasificación racial (índices etnológicos) y de la valoración morfofuncional de sus aptitudes (índices funcionales) (Sañudo *et al.* 1986; Parés 2009a). En este trabajo, y basándonos en las consultas bibliográficas de diferentes autores anteriormente citados, se han escogido un total de 17 índices, desglosados de la siguiente manera: 5 de interés etnológico, 6 de interés funcional de aptitud para el trabajo y otros 6 de interés funcional de aptitud cárnica.

3.2.3.1. Índices etnológicos o morfoestructurales

- Índice Corporal (IC): $\text{Diámetro Longitudinal} \times 100 / \text{Perímetro Torácico}$. Este índice nos da una estimación sobre las proporciones de la raza. Es decir, relaciona la compactación del cuerpo con el perímetro torácico permitiendo la clasificación de

los animales en: longilíneos ($IC \geq 90$), mesolíneos ($IC \geq 84$ y ≤ 89) o brevilíneos ($IC \leq 83$). Según la clasificación Baroniana se dividen en: Ultrabrevilíneo (-') (< 83), brevilíneo (-) ($=84$), subbrevilíneo (-1) ($=85$), mediolíneo (0) (86 a 88), sublongilíneo (+1) ($=89$), longilíneo (+) ($=90$) o ultralongilíneo (+') (>90).

- Índice Torácico (IT): $\text{Diámetro Bicostal} * 100 / \text{Diámetro Dorsoesternal}$. Este índice es complementario al corporal (IC) para determinar la proporcionalidad de la raza. Se basa exclusivamente en las medidas de altura y anchura del tórax, indicando el grado de compactación torácica y también permite clasificar a los individuos como: longilíneos ($IT \leq 83$), mesolíneos ($IT \geq 84$ y ≤ 89) o brevilíneos ($IT \geq 90$). Según la clasificación Baroniana un individuo puede ser: Ultrabrevilíneo (-') (>90), brevilíneo (-) ($=90$), subbrevilíneo (-1) ($=89$), mediolíneo (0) (86 a 88), sublongilíneo (+1) ($=85$), longilíneo (+) ($=84$) o ultralongilíneo (+') (< 83).

- Índice Craneal (ICR): $\text{Anchura Cráneo} * 100 / \text{Longitud Cráneo}$.
- Índice Cefálico (ICE): $\text{Anchura Cabeza} * 100 / \text{Longitud Cabeza}$.

Los dos índices anteriores muestran si las proporciones de la cabeza son armónicas, dando así una idea de su compactación, es decir, indican si el diámetro longitudinal prevalece sobre el transversal o viceversa. El ICR informa sobre la compacidad del cráneo mientras el ICE se refiere a la armonía de las proporciones de la cabeza en general. El índice Craneal fue introducido por Sansón (1911), para establecer una clasificación de las especies domésticas atendiendo a la morfología de la cabeza, en particular del cráneo, pero planteó la fórmula a la inversa ($\text{longitud} * 100 / \text{anchura}$). En el presente estudio se aplicó la fórmula dada por Aparicio (1974), utilizada también por Folch & Jordana (1997), debido a que es la más ampliamente utilizada en las diagnósticos raciales. Con base a los resultados de la relación entre los diámetros longitudinal y transversal de la cabeza, se han dividido los animales en braquicraneotas ($ICR > 100$) o dolico craneotas ($ICR < 100$). Por otro lado, según Aparicio (1960), animales con el índice cefálico elevado se corresponden a animales de cara corta o braquiprosopios o braquicéfalos; los índices más bajos son los de individuos de cara larga o dolico prosopios o dolico céfalos; los valores medios corresponderían a los animales de cara media o mesoprosopios.

- Índice de Proporcionalidad (IP): $\text{Alzada a la Cruz} * 100 / \text{Diámetro Longitudinal}$. Este índice, también llamado por Aparicio (1974) de “cortedad relativa”, se encuentra supeditado a la alzada y al diámetro longitudinal, y se fundamenta en el aspecto funcional de toda tracción animal, siempre favorecida en las morfologías brevilíneas. Es decir, que partiendo del diámetro longitudinal medio de un grupo racial existirá tanta más cortedad, o serán más brevilíneos, cuanta más alzada tengan. Algunos autores como Aparicio *et al.* (1986), avalan este índice para las clasificaciones étnicas. Idealmente, un animal bien proporcionado, debería tener un valor igual a 100. Así, un animal mesolíneo está definido como un cuadrado perfecto (IP=100), brevilíneo a los animales a favor de la alzada a la cruz (IP>100), longilíneo a favor del diámetro longitudinal (IP<100).

3.2.3.2. Índices morfofuncionales de aptitud trabajo

Aparicio (1974) determinó estos índices para ser usados principalmente en el ganado bovino, pero del mismo modo pueden ser utilizados en otras especies.

- Índice Dáctilo-Torácico (IDT): $\text{Perímetro Caña} * 100 / \text{Perímetro Torácico}$. También conocido como Índice Metacarpo-Torácico, indica cómo es el formato del animal (grande, mediano o pequeño), es decir, muestra la relación existente entre la masa del individuo y los miembros que la soportan, permitiendo definir tres tipos de animales: hipermétrico, eumétrico y elipométrico. Da una idea del grado de finura del esqueleto, es decir, valores elevados de dicho índice indican cañas y aplomos mucho más robustos que los necesarios para soportar una determinada masa corporal. Con base a los valores encontrados por Marcq *et al.* (1951) y referidos por Oom & Costa-Ferreira (1987), se puede definir:

- | | |
|---|-------------------|
| o Caballos pesados (hipermétricos) | IDT cerca de 11,0 |
| o Caballos medios (eumétricos) | IDT cerca de 10,8 |
| o Caballos ligeros (hipométricos o elipométricos) | IDT cerca de 10,4 |

No obstante, se debe tener en cuenta si se está considerando animales dentro de la raza o bien la media de la raza respecto a la especie (estándar morfológico). Por ello, dentro de una raza considerada como elipométrica, se puede encontrar tanto individuos hipermétricos como eumétricos o elipométricos, de manera que si se intentara clasificarla de forma aislada, tan sólo contando con la clasificación

numérica de este índice, y sin compararla con otras razas de su misma especie, podría resultar que se tratara de una raza hipermétrica porque los individuos que forman parte de ella guarden unas proporciones hipermétricas. Por ello, se debe tener mucho cuidado en la interpretación de este índice.

Aparicio (1994) postula que en todas las especies existe un volumen medio que es el resultado de la combinación óptima de la superficie y de la masa. Esta configuración plástica da lugar a un excedente energético extraordinario y los animales que la poseen se encuentran en las mejores condiciones de viabilidad. Existe pues, una combinación óptima de la superficie y la masa, a la que Barón (1888) denominó eumetría, y a partir de ese punto medio se perciben fluctuaciones máximas y mínimas.

- Índice de Alzada Pectoral (IAP): (Alzada a la Cruz – Diámetro Dorso-Esternal) / Perímetro Torácico. Índice de proporcionalidad existente entre la alzada esternal (distancia al suelo) y el perímetro torácico (masa del animal). Cuanto mayor sea este índice más lejos estará el pecho del suelo por lo que los valores elevados son indicadores de mayor esbeltez de los individuos.
- Índice 1 (I1): Perímetro Torácico / Alzada a la Cruz. Éste es un índice que ayudaría a definir la aptitud al trabajo del animal, por su relación directa con la resistencia a la fatiga cuando el perímetro torácico no excede a la alzada a la cruz en menos 1/8, es decir, cuando la ratio entre ambas variables no sea superior a 1,125.
- Índice 2 (I2): Alzada a la cruz / Alzada a la grupa. Es similar al Índice 1. Valores elevados indican que es un animal con una región anterior más elevada que la posterior, transfiriendo así el centro de gravedad a las extremidades posteriores y por tanto sobrecargándolas. Un animal se considera bien proporcionado si las dos medidas son similares, es decir, si los valores del índice resultan ser 1 o próximos a 1.
- Índice 3 (I3): Alzada Esternal / Alzada a la Cruz. Al igual que los dos anteriores, este índice es un indicador de la proporcionalidad de los individuos y su relación

con la aptitud al trabajo. Se considera una proporcionalidad adecuada, los valores que se encuentran en el intervalo: 0,50-0,55.

- Índice 4 (I4): Perímetro de la Caña / Alzada Estial. Índice de proporcionalidad en el que, de forma ideal, cada centímetro de perímetro de la caña debería corresponderse a cuatro centímetros de alzada al esternón. Es decir, el índice debería tener valores cercanos a 0,25.

3.2.3.3. Índices morfofuncionales de aptitud cárnica

- Índice Dáctilo-Costal (IDC) o Metacarpo-Costal: $\text{Perímetro de Caña} * 100 / \text{Anchura de Pecho}$. Relaciona el perímetro de la caña anterior con la anchura de pecho, mostrando de manera indirecta la cantidad de masa ósea del animal. Valores elevados indican una mejor aptitud cárnica y valores inferiores una mejor aptitud lechera.
- Índice Pélvico (IPV): $\text{Anchura Grupa} * 100 / \text{Longitud Grupa}$. Ofrece una idea de la estructura de la grupa, estando por tanto muy relacionado con la estructura reproductiva de la raza. Una grupa proporcionada indica una anchura similar a su longitud ($\text{IPV} \approx 100$), y se puede definir como horizontal. Si los valores obtenidos son inferiores a 100 se trataría de una grupa de líneas convexas, predominando la longitud sobre la anchura, y si son superiores a 100 son concavilíneas, predominando, en este caso, la anchura sobre la longitud.
- Índice Pelviano Longitudinal (IPL): $\text{Longitud de Grupa} * 100 / \text{Alzada a la Cruz}$. Indica la amplitud de la grupa, siendo mejor la conformación cárnica del animal cuanto mayor sea el valor del índice, pero dentro de unos límites establecidos. Para la producción cárnica se recomienda que no supere en demasía los valores de 37 (Parés 2009a).
- Índice Pelviano Transversal (IPT): $\text{Anchura de la Grupa Anterior} * 100 / \text{Alzada a la Cruz}$. Es indicadora de la amplitud de la grupa (rica en masa muscular) en relación a la corpulencia del animal, la conformación cárnica del animal será mejor cuanto

mayor sea el resultado del índice. Para la producción cárnica son deseables índices superiores a 33 (Parés 2009a).

- Índice de Profundidad Relativa del Tórax (IPRT): Diámetro Dorso-External * 100 / Alzada a la Cruz. Medida indirecta del desarrollo de la región torácica en relación con las extremidades, cuanto mayor sea el resultado del índice, mejor será la conformación cárnica del animal. Para la producción cárnica son deseables índices superiores a 50 (Parés 2009a).
- Índice Podal Posterior (IPP): Altura al Corvejón * 100 / Alzada al Nacimiento de la Cola. Indica la relación existente entre las masas musculares de la totalidad del tercio posterior (lomo, grupa, muslo, nalga y pierna) con la alzada al nacimiento de la cola. Cuanto mayor sea la altura al corvejón, mayor será el valor del índice y más bondadosa la musculatura del animal.

3.2.4. Análisis estadísticos

Con los datos resultantes de las variables e índices zoométricos mencionados se confeccionaron las correspondientes bases de datos (mediante el programa Microsoft® Access® 97). Posteriormente, fueron analizadas mediante el paquete estadístico SAS® (SAS/SATAT, 1999). Se obtuvieron los siguientes parámetros: la media aritmética como valor de tendencia central, la desviación típica, y el coeficiente de variación porcentual (CV) que explica la homogeneidad de cada subpoblación.

Para evaluar la posible existencia de diferencias significativas entre sexos y entre comarcas sobre las variables e índices analizados previamente, se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) utilizando el procedimiento *General Lineal Model* (GLM) del paquete estadístico SAS®. El modelo utilizado tiene como variables independientes el sexo y la comarca, y como variables dependientes los diferentes parámetros medidos.

El modelo aditivo lineal, para el efecto comarca, que explica la variación de la respuesta de estas variables correspondería a:

$$Y_{ij} = \mu + S_i + \varepsilon_{ij}$$

siendo, Y_{ij} = variables respuesta:

ALC, ALPC, ALMD, ALNG, ALNC, ALPG, AP, APF, AHS, DB, APAG, AGT, APG, DD, DL, LC, LCR, LH, AC, ACR, AH, PH, LG, ACO, LD, LL, AD, AL, PCA, PT, IC, IP, IT, ICR, ICE, IAP, I1, I2, I3, I4, IDT, IDC, IPV, IPL, IPT, IPRT, IPP.

μ = media general de la población

S_i = efecto del i-ésima comarca:

- i. Ripollès
- ii. Cerdanya
- iii. Pallars Sobirà
- iv. Val d'Aran
- v. Alta Ribagorça
- vi. Pallars Jussà
- vii. Alt Urgell

ε_{ij} = error experimental.

Para el efecto sexo:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + \varepsilon_{ij}$$

siendo, Y_{ij} = parámetro medido para el i-ésimo género y el j-ésimo individuo.

μ = media general de la población.

G_i = efecto i-ésimo del género.

ε_{ij} = error experimental

Cuando el análisis de varianza reflejó diferencias significativas entre comarcas para alguna de las variables, se efectuó la prueba de Scheffé, a partir del procedimiento LSMEANS de SAS®, para determinar qué comarcas las habían generado.

Mediante el procedimiento PROC CORR de SAS® se obtuvieron los coeficientes de correlación de Pearson (1914) entre las variables zoométricas sólo de las hembras. A partir de los coeficientes de correlación, se efectuó un análisis de *clusters* aplicando el método UPGMA (*Unweighted Pairs Group Method Analysis*), y se generó el fenograma de las relaciones entre las diferentes variables zoométricas.

Posteriormente, se utilizó el procedimiento PROC CANDISC del mismo paquete estadístico (SAS®) para efectuar un análisis discriminante canónico del total de

variables zoométricas, entre poblaciones de hembras. Este análisis multivariante de dimensión-reducción, que está estrechamente relacionado con el análisis de los componentes principales y la correlación canónica, pretende eliminar la posible información redundante aportada por alguna de las variables originales. El último objetivo fue obtener los componentes canónicos, que son combinaciones lineales de las variables cuantitativas originales, y que permiten maximizar las diferencias morfológicas existentes entre las siete clases, o grupos, establecidos previamente. A partir de estas variables canónicas se obtuvo una representación gráfica de las siete poblaciones de hembras de CPC.

Finalmente, se calculó la distancia de Mahalanobis (1936) entre comarcas para la subpoblación de hembras y se obtuvo un dendrograma de relación utilizando el programa MEGA2 (Kumar *et al.* 2001) mediante el algoritmo UPGMA. Ésta es una distancia genética aplicada a datos cuantitativos.

Para realizar las comparaciones con las distintas razas equinas cárnicas españolas (Jaca Navarra, Hispano-Bretón y Caballo de Burguete) se tomó como referencia el Informe Final del Proyecto INIA RZ2004-00023 (Valera *et al.* 2008), donde se seleccionaron 22 variables morfológicas (alzada a la cruz, alzada a la mitad del dorso, alzada a la porción anterior de la grupa, alzada a la porción anterior de la grupa, alzada al nacimiento de la cola, altura al hueco subesternal, altura al corvejón, anchura de pecho, anchura de pecho por fuera, diámetro dorso-esternal, diámetro bicostal, diámetro longitudinal, longitud del dorso, longitud del lomo, anchura del dorso, anchura de lomo, longitud de la grupa, anchura porción anterior de grupa, anchura de la grupa en la porción posterior, anchura entre trocánteres, perímetro torácico y perímetro de la caña anterior) y 9 índices zootécnicos (índice de proporcionalidad relativa del tórax, índice corporal, índice de proporcionalidad, índice torácico, índice dactilo-torácico, índice dactilo-costal, índice pelviano, índice pelviano longitudinal e índice pelviano transversal), comunes para las cuatro razas.

También se calculó la distancia de Mahalanobis (1936) para sementales y yeguas entre las razas cárnicas españolas, y se obtuvo un dendrograma de relación utilizando el programa MEGA2 (Kumar *et al.* 2001) mediante el algoritmo UPGMA. Para poder aplicar el Análisis de Componentes Principales (Pearson 1901; Hotelling 1933), se

verificó previamente la correlación entre las variables. Para ello, se obtuvieron las correspondientes matrices de asignación a raza tanto para machos como para hembras. Posteriormente, se realizó un Análisis Canónico Discriminante (Afifi & Clark 1996), de manera gráfica, también para sementales y yeguas.



Cavall Pirinenc Català

3.3. CARACTERIZACIÓN GENÉTICA DEL CAVALL PIRINENC CATALÀ

3.3.1. Material biológico

Para los estudios con microsatélites (ADN nuclear), el número de individuos de Cavall Pirinenc Català muestreados, de forma totalmente aleatoria por subpoblaciones (comarcas), fue de 215 individuos, distribuidos de la siguiente manera: Val d'Aran (N=34), Alta Ribagorça (N=25), Pallars Jussà (N=16), Alt Urgell (N=18), Pallars Sobirà (N=41), Cerdanya (N=39) y Ripollès (N=42). De manera adicional, se muestrearon 38 individuos de la raza Bretón (BRE) y 6 de la raza Comtois (COM), para analizar las relaciones del CPC con estas razas pesadas francesas, filogenética e históricamente cercanas.

Para el estudio del ADN mitocondrial, que fue realizado en su totalidad en el Laboratorio de Diagnóstico Genético Veterinario (LDGV) del MERAGEM (Grupo de Investigación AGR-158- Mejora de Razas y Genética Molecular), Córdoba, dentro del proyecto INIA RZ2004-00023, se incluyeron muestras de 41 individuos de las 4 poblaciones equinas de carne españolas: 11 individuos de la raza Jaca Navarra (JAC), 10 de la raza Burguete (BUR), 10 de la raza Hispano-Bretón (HB) y 10 del Cavall Pirinenc Català (CPC). Se utilizó como referencia una secuencia de la región control del ADNmt de *E. caballus*, publicada en la base de datos GenBank (No de acceso X79547) y una de la especie *E. asinus* (No. de acceso X97337), que se utilizó como *outgroup*.

3.3.2. Extracción y amplificación del ADN nuclear

El ADN genómico fue extraído a partir de muestras de pelo con el protocolo de fenol cloroformo (Ausubel *et al.* 1989).

Se analizó el genotipo de los individuos con el panel de 16 marcadores de ADN de tipo microsatélite utilizando el kit StockMarks® para caballos (*Applied Biosystems, Foster City, CA, USA*) siguiendo las instrucciones del fabricante. En la Tabla 3 se muestran las secuencias de los *primers* originariamente descritos para cada uno de los marcadores así como su referencia bibliográfica.

Tabla 3. Microsatélites seleccionados para los estudios de caracterización genética en el CPC.

Locus	Cromosoma	Secuencia 5'- 3'	Primer	Referencia
AHT4	24	AACCGCCTGAGCAAGGAAGT CCCAGAGAGTTTACCCT	Forward Reverse	(Binns <i>et al.</i> 1995)
AHT5	8	ACGGACACATCCCTGCCTGC GCAGGCTAAGGGGGCTCAGC	Forward Reverse	(Binns <i>et al.</i> 1995)
ASB17	2	GAGGGCGGTACCTTTGTACC ACCAGTCAGGATCTCCACCG	Forward Reverse	(Breen <i>et al.</i> 1997)
ASB2	15	CCTTCCTGTAGTTTAAGCTTCTG CACAACTGAGTTCTCTGATAGG	Forward Reverse	(Breen <i>et al.</i> 1997)
ASB23	3	GCAAGGATGAAGAGGGGCAGC CTGGTGGGTTAGATGAGAAGTC	Forward Reverse	(Irvin <i>et al.</i> 1998)
CA425	28	AGCTGCCTCGTTAATTCA CTCATGTCCGCTTGTCTC	Forward Reverse	(Eggleston-Stott <i>et al.</i> 1997)
HMS1	15	CATCACTCTTCATGTCTGCTTGG TTGACATAAATGCTTATCCTATGGC	Forward Reverse	(Guerin <i>et al.</i> 1994)
HMS2	10	ACGGTGGCAACTGCCAAGGAAG CTTGCAGTCGAATGTGTATTAAATG	Forward Reverse	(Guerin <i>et al.</i> 1994)
HMS3	9	CCAACTCTTTGTACATAACAAGA CCATCCTCACTTTTTCACCTTGT	Forward Reverse	(Guerin <i>et al.</i> 1994)
HMS6	4	GAAGCTGCCAGTATTCAACCATTG CTCCATCTTGTGAAGTGTAACCTCA	Forward Reverse	(Guerin <i>et al.</i> 1994)
HMS7	1	CAGGAACTCATGTTGATAACCATC TGTTGTTGAAACATACCTTGACTGT	Forward Reverse	(Guerin <i>et al.</i> 1994)
HTG4	9	CCTGCTTGGAGGCTGTGATAAGAT CTCCCTCCCTCCCTCTGTTCTC	Forward Reverse	(Ellegren <i>et al.</i> 1992)
HTG6	15	CCTGCTTGGAGGCTGTGATAAGAT GTTCACTGAATGTCAAATTCTGCT	Forward Reverse	(Ellegren <i>et al.</i> 1992)
HTG7	4	CCTGAAGCAGAACATCCCTCCTTG ATAAAGTGTCTGGGCAGAGCTGCT	Forward Reverse	(Marklund <i>et al.</i> 1994)
HTG10	21	CAATTCCCGCCCCACCCCGGCA TTTTTATTCTGATCTGTACATTT	Forward Reverse	(Marklund <i>et al.</i> 1994)
VHL20	30	CAAGTCCTCTTACTTGAAGACTAG AACTCAGGGAGAATCTTCCTCAG	Forward Reverse	(Bailey <i>et al.</i> 1995)

La amplificación de los microsatélites se realizó mediante la técnica de PCR (Reacción en cadena de la Polimerasa) (Mullis *et al.* 1986; Saiki *et al.* 1988). Se utilizó un termociclador 9700 (GeneAmp® PCR System) comportando una primera etapa de desnaturalización inicial del ADN y de activación de la polimerasa AmpliTaq Gold® (*Applied Biosystems*) a 95°C por 10 minutos, seguido de 30 ciclos de 30 segundos a 95°C, 30 segundos a 60°C y 60 segundos a 72°C. Se utilizó un paso de extensión final de 60 minutos a 72°C. Los productos de PCR se analizaron por electroforesis capilar en

un secuenciador automático ABI PRISM® 3730 (*Applied Biosystems*) incluyendo el marcador interno del tamaño de los fragmentos LIZ500 (*Applied Biosystems*). Los alelos amplificados fueron tipificados con el programa Peak Scanner® Software v.1.0 (*Applied Biosystems*).

3.3.3. Análisis estadísticos para microsatélites

Análisis de la diversidad genética

Una vez determinados los alelos de cada locus e individuo, se utilizó el programa GenAlEx v.6.3 (Peakall & Smouse 2006) para calcular las frecuencias alélicas, número de alelos detectados (NA), número medio de alelos por locus (NMA), heterocigosis observada y esperada (H_O y H_E) y alelos privados. La riqueza alélica (RA) de cada subpoblación se estimó para un tamaño muestral de 15 individuos diploides con el programa FSTAT v.2.9.3.2 (Goudet 1995). El índice de polimorfismo (PIC) se calculó con el complemento THE EXCEL MICROSATELLITE TOOLKIT v.3.1.1. (Park 2001) para el programa EXCEL®. El programa FSTAT v.2.9.3.2 (Goudet 1995) se utilizó para detectar las desviaciones del equilibrio Hardy-Weinberg (HW) con un test global de 10000 permutaciones, así mismo se determinaron los niveles de significancia global en la corrección de Bonferroni para test múltiples (Weir 1996). El programa Arlequin v.3.11 (Schneider *et al.* 2000) se utilizó para realizar un AMOVA (Analysis of Molecular Variance), el cual estima y compara la variación dentro y entre comarcas, aportando una medida del porcentaje de variación a cada una de las fuentes de variación. Este mismo programa se utilizó para hallar el grado de diferenciación genética entre las poblaciones (F_{ST}), dentro de la población y entre pares de subpoblaciones (ambos estadísticos realizados con 10000 permutaciones, para comprobar niveles de significación). Los F-estadísticos se calcularon mediante el programa FSTAT v.2.9.3.2 (Goudet 1995), mediante los estimadores de Weir & Cockerham (1984). Los valores de coancestralidad (f_i) y auto-coancestralidad (s_i), así como las contribuciones de cada comarca a la diversidad total (GD_T), la diversidad genética total después de remover una subpoblación i ($GD_{T|i}$) y la contribución de cada subpoblación a un único acervo genético (GD_{POOL}) se llevó a cabo con el programa METAPOP v.1.0.3. (Pérez-Figueroa *et al.* 2008).

Asignación racial

Para evaluar la relación del CPC con las otras dos razas de tipo pesado francesas (Bretón y Comtois) se utilizó el programa STRUCTURE v.2.3.3. (Pritchard *et al.* 2000). Este programa fue utilizado para estimar el número de poblaciones ancestrales más probables de las tres razas analizadas (CPC, BRE y COM), además de representar la proporción que tiene cada individuo de estas poblaciones. Hipotéticamente, se asume que un individuo debe mostrar contribuciones distintas a partir de las diferentes poblaciones ancestrales, y las simulaciones realizadas por el método de la Cadena de Monte Carlo-Markov (Guo & Thompson 1992) es usada para inferir el número de poblaciones ancestrales más probables, y así estimar la contribución proporcional de cada una de las poblaciones al genotipo de cada individuo. En el presente estudio, se evaluó el número de poblaciones ancestrales posibles (K) a través de un rango para K de 2 a 6. La probabilidad (máxima verosimilitud) de los diferentes valores fue testado asumiendo el $\ln P(D)$. Para cada valor de K, se realizaron 10 simulaciones independientes, realizadas con un modelo de mezcla sin otorgarles una población *a priori*, con un periodo de *burn-in* de 100000 iteraciones, seguido de 500000 iteraciones MCMC (Markov Chain Monte Carlo) para obtener el correspondiente valor de $\ln P(D)$.

Distancias genéticas

Las distancias genéticas y los árboles de relaciones genéticas entre poblaciones (dendrogramas) se obtuvieron a partir de la distancia D_A de Nei *et al.* (1983). Takezaki & Nei (1996) sugirieron el uso de esta distancia con marcadores de tipo microsatélite, cuando el principal objetivo del estudio está enfocado a la correcta asignación de la topología, más que a estudios de tiempos evolutivos. Las distancias fueron analizadas con el algoritmo *neighbour-joining* (NJ) (Saitou & Nei 1987). La robustez de cada rama fue probada con 1000 reemplazos sobre los *loci*. Por otra parte, se calculó la distancia genética de Reynolds (Reynolds *et al.* 1983) entre poblaciones. Esta medida se basa en los valores F_{ST} . Para esta distancia se utilizó el algoritmo NJ para construir el dendrograma (también con 1000 reemplazos sobre los *loci*). Distancias y dendrogramas fueron obtenidos con el programa POPULATIONS v.1.2.28. (Langella 2002).

3.4. ANÁLISIS DE LA ENFERMEDAD HEREDITARIA JEB EN EL CPC

El estudio se realizó con 205 caballos (92 hembras y 113 machos) pertenecientes a la raza Cavall Pirinenc Català. Las muestras fueron tomadas de manera aleatoria y sin relación de parentesco entre las 7 comarcas catalanas: Val d'Aran (m=1, h=12), Alt Urgell (m=5, h=2), Cerdanya (m=10, h=13), Pallars Jussà (m=5, h=9), Pallars Sobirà (m=76, h=10), Alta Ribagorça (m=6, h=14) y Ripollès (m=10, h=32).

El ADN se extrajo a partir de sangre o bulbos de pelo siguiendo un protocolo estándar con fenol-cloroformo (Ausubel *et al.* 1989). Se amplificó, mediante PCR, un fragmento de 173 pb del exón 10 del gen *LAMC2*, con los siguientes *primers* (*forward*: 5'-TGT TAC TCA GGG GAT GAG AA-3', *reverse*: 5'-CTG GGG GCA GTT ATT GCA C-3') descritos por Spirito *et al.* (2002), que contiene la mutación responsable. El *primer forward* fue marcado con un fluorocromo 6-FAM. El alelo mutado genera una banda de más (1 pb) con respecto al alelo normal. Para obtener bandas inequívocas se modificó el *primer reverse*, añadiendo una cola de 7 bases (5'-GTTTCTT-CTG GGG GCA GTT ATT GCA C-3'). Las condiciones de PCR fueron las siguientes: llevado a un volumen final de 20µl, se usó 30 ng de ADN genómico, 1x buffer, 1,5 mM MgCl₂, 0,4 mM de dNTPs, 0,5 µM de cada *primer* y 0,6 U de EcoTaq (Ecogen, Barcelona, España). La PCR fue llevada a cabo en un termociclador 9700 (GeneAmp PCR System) con el siguiente programa: activación de la polimerasa a 94°C durante 5 minutos, seguido de 30 ciclos que comprendían, una primera fase de desnaturalización a 94°C durante 30 segundos, una fase de hibridación a 56°C durante 30 segundos y una fase de extensión a 72°C durante 30 segundos, finalmente la fase de extensión de la cadena a 72°C durante 60 minutos. Los productos de PCR se analizaron por electroforesis capilar en un secuenciador automático ABI PRISM 3730 (*Applied Biosystems*) incluyendo el marcador interno de tamaño ROX 70-500 (Bio Ventures Inc., Murfreesboro, TN). Los alelos fueron tipificados con el programa Peak Scanner® Software v.1.0. (*Applied Biosystems*).

Cálculo de la prevalencia para la enfermedad JEB

Se determinó el porcentaje de portadores del alelo causante de la enfermedad JEB, por comarca, sexo y para toda la raza.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS EXPLOTACIONES EQUINAS DEL CAVALL PIRINENC CATALÀ

4.1.1. Censo equino

Según datos del *Servei de Producció Ramadera* del *Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural* (DAR) y estimaciones propias obtenidas a través de las Oficinas Comarcales del DAR y de las encuestas realizadas en el presente trabajo, la cantidad total de equinos (silla y carne), en el año 2006, en las siete comarcas pirenaicas fue de 5062 animales. De ellos, un 89% correspondía a caballo de carne (4513 reproductores, con un 12% de sementales) y un 11% a caballos de silla (549 reproductores). Se distribuyeron en un total de 504 explotaciones, un 86% (432 explotaciones) de equino de carne y un 14% (72 explotaciones) de silla. (Tabla 4).

En referencia al equino de carne, tres comarcas concentraron el 80% de criadores y censo: Cerdanya (CE), Pallars Sobirà (PS) y Ripollès (RI), destacando la comarca de CE con casi un 40% del mismo. La gran diferencia en el número de explotaciones y censos entre CE y el resto de comarcas se debe, básicamente, a la gran tradición histórica de esta comarca en la cría de équidos. Además, CE posee grandes extensiones de planicies donde se han podido instaurar numerosas explotaciones, siendo el tipo de paisaje más propicio para el buen desarrollo de los potros. En contraste, otras comarcas más pirenaicas, como por ejemplo el PS, con un paisaje más montañoso y/o abrupto, tienen más complicado crear nuevas explotaciones productivas.

Tabla 4. Censo por comarcas y total, y número de explotaciones para caballos de carne y silla en los Pirineos catalanes. Datos de 2006.

Tipo de Explotación	Censo por comarcas							Censo total
	VA	AR	PJ	AU	PS	CE	RI	
Caballos de carne	40	20	13	19	87	170	83	432
Yeguas	276	206	318	190	879	1397	710	3976
Sementales	25	16	21	42	110	230	93	537
Total	301	222	339	232	989	1627	803	4513
Caballos de silla	4	1	2	14	7	11	33	72
Yeguas	64	4	28	62	47	110	152	467
Sementales	7	6	3	12	5	22	27	82
Total	71	10	31	74	52	132	179	549

VA: Val d'Aran; AR: Alta Ribagorça; PJ: Pallars Jussà; AU: Alt Urgell; PS: Pallars Sobirà; CE: Cerdanya; RI: Ripollès.

El censo de caballos, hasta el momento de la encuesta, se mantenía similar al de años anteriores en el 62% de las explotaciones, habiendo aumentado tan sólo en un 27% de las mismas. El 83% de los ganaderos declararon no tener previsto variar el número de reproductores, y tan solo el 14% pensaba aumentarlo. La estructura general de los rebaños en las explotaciones estuvo formada de la siguiente manera: el 81% de los ganaderos manejaban exclusivamente caballos de la raza CPC (por ser los más aclimatados e idóneos para la zona), mientras que el 19% restante también habían introducido ejemplares de otras razas, básicamente sementales de las razas Bretona (CE, AU, RI y VA), en menor medida de la Comtois (AR, VA y RI) y de forma más esporádica de la Percherona (AR y VA), con el objetivo de fijar ciertos caracteres de interés productivo en el CPC. El 70% de las explotaciones se dedicaban únicamente a la cría de pollinos para engorde, el 23% hacían recría, y sólo el 7% realizaba el ciclo completo.

En cuanto a la reposición, y de manera muy general, se observó que el 17% y el 63% de los ganaderos incorporan anualmente hembras y sementales, respectivamente, de fuera de la explotación. En las comarcas CE y RI, se reponen hembras de fuera de la explotación en el 50% y el 33%, respectivamente. Y aunque los sementales en su mayoría suelen ser introducidos de fuera de las propias explotaciones, debemos destacar la comarca de Val d'Aran (VA) donde esto sólo ocurre en el 32% de sus explotaciones. En general, las explotaciones suelen tener sólo un semental por rebaño, el cual cubre todo el año. Las hembras se separan en lotes en el 84% de los casos. Cuando el criador incorpora yeguas al rebaño, lo que busca es morfología y genética (en un 37% y 28%, respectivamente), y cuando incorpora machos (aunque el 46% no lo hace), morfología y genética es también lo más solicitado. Evitar la consanguinidad es un tema al que los criadores no prestan, por el momento, demasiada atención, así que sólo el 14% incorpora nuevos sementales para controlarla. Muchas veces se incorporan machos sin importar su procedencia o las relaciones de parentesco, lo que podría acarrear problemas en las crías y por consiguiente en los caracteres de fecundidad, supervivencia y producción (Frankham *et al.* 2002).

La tasa de natalidad del CPC es elevada según el sondeo, quedando preñadas alrededor del 85% de todas las hembras aptas para la reproducción. La tasa de mortalidad de los potros es relativamente baja. En el 80% de las explotaciones mueren menos de 3

individuos por año. La causa más común de mortandad se debe a los problemas durante el parto (30% de casos); la muerte accidental y la muerte natural tienen la misma probabilidad de ocurrir (18% de casos). Según el análisis de la encuesta, se da una concordancia entre el número de hembras gestantes y el número de potros nacidos por explotación. Lo más común es tener en la explotación, como promedio, alrededor de 15 hembras, que en el mejor de los casos también paren hasta 15 potros. Sin embargo, debemos enfatizar que a pesar de que el CPC posee buenas tasas de natalidad y excelentes aptitudes maternas, eventualmente surgen algunos problemas durante el parto y postparto que se pueden minimizar con un mayor seguimiento por parte del criador, aunque esto muchas veces se hace dificultoso debido a que las crías pasan gran parte del año en la montaña.

Poco más de la mitad de los ganaderos (51%) manifestó que alguna que otra vez habían criado razas diferentes al CPC, pero actualmente, la gran mayoría prefiere esta raza por sus características rústicas y autóctonas. La mitad de los ganaderos (46%) concuerdan que la principal razón para explotarla se debe a su gran adaptación al medio; motivo importante, pues criar caballos de carne (además de otras especies domesticas) en estas zonas se hace muy difícil, dado el agreste terreno de los Pirineos. Por otra parte, algo más del 50% de los ganaderos también cría especies diferentes al caballo, siendo el vacuno de carne el que se explota con mayor frecuencia. Sin embargo, la experiencia aportada por el caballo de carne, es aprovechada para manejar otro tipo de animales, también de características cárnicas. Para una revisión más en profundidad de los resultados, remitimos al lector a la Tesis de Máster (Infante 2008).

4.1.2. Principales datos del criador

Los resultados de las encuestas mostraron que las explotaciones están experimentando un déficit de personal, además de la incertidumbre de continuidad en el tiempo. La edad media de los criadores fue elevada. El 72% de las explotaciones son llevadas por criadores de más de 40 años, y el 46% de las mismas por ganaderos de más de 50 años. Ripollès (RI) y Alta Ribagorça (AR) son las comarcas que tienen los criadores más jóvenes (menos de 40 años), con el 47% y el 42%, respectivamente. En la comarca del Pallars Jussà (PJ), el 75% de los criadores sobrepasa los 60 años; este elevado porcentaje está relacionado con el hecho de que son mayoritariamente personas jubiladas quienes se dedican a esta actividad en la comarca.

Las explotaciones de caballos en Catalunya, al igual que en el resto de España, suelen ser heredadas (Mainar 1995; Purroy 2005). Esta tradición es de suma importancia para el buen manejo del ganado. La mayor parte de criadores suelen formarse a través de sus padres desde la infancia en un ambiente ecuestre, de tal manera que su principal actividad es, y ha sido, la ganadería (63%). Sin embargo, la actividad económica principal de los criadores varía entre comarcas, de tal manera que mientras en CE todos los encuestados se declaran ganaderos a tiempo completo (100%), en VA un alto porcentaje se dedica a actividades como el turismo (47%), y en PJ una gran proporción de personas son ya jubiladas (50%).

Por otra parte, los resultados obtenidos mostraron que la fecha de creación de muchas explotaciones de caballos en los Pirineos Catalanes es muy antigua; el 67% de ellas tienen más de 25 años. En la comarca de Cerdanya, no se ha creado una nueva explotación desde hace, por lo menos, 25 años. Esto es interesante, ya que la comarca posee el mayor censo tanto de caballos como de explotaciones. A diferencia de CE, la comarca que tiene más explotaciones creadas en los últimos 25 años es AR (con el 67% de “nuevas” explotaciones). Como curiosidad, en RI ningún ganadero encuestado responde que cría al CPC por “tradición”, siendo que casi el 70% responden que sus explotaciones son de tradición familiar. Por otro lado, RI es la única comarca que dice utilizar al CPC para la limpieza de bosques y campos; sin embargo el 11% de los ganaderos catalanes encuestados, menos los de PJ y AU, dicen utilizar caballos diferentes al CPC para tal finalidad. La limpieza de bosques y campos realizada por caballos no es muy reconocida pero es fundamental para el mantenimiento de zonas con riesgos de incendio, además otorga un bello paisaje al turismo rural en los Pirineos Catalanes.

El sondeo reveló la gran experiencia de los ganaderos con respecto a la producción equina. El problema fundamental radica en que no existe una seguridad generacional por parte de los criadores para la continuidad de su labor. En las explotaciones de cría del CPC en Catalunya, tan solo el 20% expresa tener confianza en la continuidad de la explotación por parte de algún familiar (mayoritariamente los hijos). La comarca con la mayor esperanza de relevo generacional es CE, con el 50% de respuestas positivas. A través de comunicaciones personales, muchos ganaderos expresan la preocupación de que si llegasen a faltar están casi seguros que sería el fin de una tradición ganadera

forjada durante muchos años, y con ello, el fin de una antigua raza, el CPC. Existe un número considerable de explotaciones administradas por familias trabajadoras y no por terceros (el 70% es personal del mismo núcleo familiar). Debido a las dificultades económicas de la producción equina pocas explotaciones pueden permitirse disponer de mano de obra contratada, sólo el 16% tiene personal permanente y sólo el 2% tiene personal temporal. Las comarcas CE y RI son las únicas que disponen, significativamente, de trabajadores fijos contratados en sus explotaciones, con el 58% y el 27%, respectivamente.

4.1.3. Manejo de los caballos

El sistema de producción es totalmente extensivo, viviendo todo el año (o casi todo) al aire libre. Su manejo se hace muy simple al no tener demasiadas exigencias, ni ambientales ni alimenticias, ofreciéndose como un ejemplar idóneo para la zona. Casi el 90% de los ganaderos mantienen sus caballos por unos meses dentro de la explotación y otros meses libres en la montaña. Sólo el 9% deja su ganado todo el año en puerto. Este porcentaje demuestra que este tipo de caballo es resistente a los diferentes ambientes agrestes de los Pirineos y, por lo tanto, no se hace necesario un manejo exclusivo dentro de la explotación.

El tipo de alimentación es muy simple, abaratando costos y aumentando la rentabilidad. Los caballos tienen una dieta a base de pasto, aunque el 91% de los criadores da suplementos alimenticios, siendo el heno el más frecuente con el 47%, luego la avena con el 25%, y a veces también se les suministra cebada, pienso ecológico y compuesto, soja, trigo, paja y maíz. En la montaña, la alimentación es natural al 100%, y cuando los caballos descienden a los pueblos, se les aprecia un óptimo engrosamiento corporal, justo lo que los criadores esperan, demostrando que para este tipo de animales generalmente no es necesario proporcionarles suplementos alimenticios para un engorde óptimo.

El plan de cría y reproducción es muy sencillo. Los criadores utilizan sólo la monta natural, no se utiliza la inseminación artificial, y además, la monta libre se practica en el 95% de los casos, dejando sólo un 5% a la monta controlada. El CPC tiene una tasa de

fertilidad y natalidad alta, haciéndolos idóneos para que el manejo en la montaña tenga un control mínimo (pero que no debe ser nulo).

Los datos de producción fueron los siguientes: el 63% de los ganaderos destetan a sus potros a los 6 meses, mientras que el resto espera un poco más de tiempo; el 79% de las explotaciones realizan el destete con un peso comprendido entre los 200 y los 250 kg con un precio por cabeza aproximado de 400€ (precio al que venden el 60% de las explotaciones). El 91% de los ganaderos venden a tratantes por cabeza de ganado (y no por peso u otros parámetros) y sólo el 6% al carnicero directamente. Los potros son vendidos casi siempre al año del nacimiento.

A día de hoy, los ganaderos no poseen tecnología ni demasiada instrumentación para el manejo de sus rebaños. Los equipos más frecuentes en las explotaciones son: establo cubierto (42%), manga de manejo (35%), “potro” de contención (10%), corrales de manejo (9%), y embarcadero (4%). Además, algunas de las instalaciones disponen de: estercolero (30%), almacén de pienso y grano (22%), pajar (44%) y báscula móvil (4%). El 80% de las explotaciones tienen cercados sus dominios, el 86% tienen puntos de agua, el 49% tienen comederos y el 70% tienen algún tipo de fuente energética.

4.1.4. Manejo en la montaña

En la montaña, los criadores abastecen con bebederos de agua al 97% de sus rebaños (el 3% restante dispone de ríos o riachuelos), sólo el 6% tiene cubiertos y el 36% tiene cercados. La subida a puerto de los caballos se realiza generalmente en los meses de junio (61%) y mayo (27%), sólo unos pocos criadores se adelantan al mes de abril (estas fechas pueden variar dependiendo de la climatología). La duración de la estancia en la montaña también puede variar debido a la climatología. Suele durar de 4 a 5 meses en general, aunque unos pocos esperan unos 6 meses. El retorno a la explotación se da durante los meses de octubre (56%) y noviembre (34%), principalmente.

La estructura demográfica en la montaña varía en cada puerto. Lo más común es que cada explotación tenga de 10 a 25 caballos. Rebaños de varias explotaciones se encuentran en la montaña, llegando a sumar muchas veces más de 200 caballos en un solo puerto. Lo normal es que haya de 50 a 100 animales. Es bien sabido que existen

pastos comunales y privados, pero en cualquiera de éstos, la probabilidad de que se encuentren los rebaños de explotaciones vecinas dentro y entre comarcas es alto (73%).

En la montaña, los caballos se pueden perder. El 26% de los criadores declaran haber perdido al menos un animal alguna vez. Estas pérdidas son esporádicas y se suele culpar a los animales silvestres (osos o lobos). La comarca RI argumenta haber perdido un animal alguna vez en el 80% de sus explotaciones, a diferencia del 0% de AR. El 38% de los criadores argumentan que sus rebaños han tenido algún tipo de interacción con animales silvestres. El 53% de los criadores, que han avistado especies silvestres, han manifestado no haber tenido problemas derivados de este encuentro. El 26% declara haber tenido un animal depredado alguna vez, aunque en el VA, donde han sido reintroducidos osos y lobos, es casi nulo. Los criadores declaran que pierden animales por causa de la huida en un 21%, acusando de nuevo a los depredadores silvestres. Analizado por comarcas, el problema de la huida se da en gran proporción en PJ, con el 75% de casos, seguido por VA y CE con el 43% y el 33%, respectivamente. El 88% de las explotaciones se encuentran dentro de un parque natural, de modo que deben regirse con normas y leyes diferentes: por ejemplo, el tipo de producto utilizado en el pasto (si es que se utiliza). Por norma, estos terrenos deben sufrir el mínimo impacto humano.

4.1.5. Manejo veterinario

Dentro de los aspectos humanos, cabe resaltar que el veterinario no visita el 31% de las explotaciones a lo largo del año. La rusticidad y la buena adaptación al medio pueden determinar la baja tasa de incidencias veterinarias. El motivo principal de visita a la explotación son los partos, seguido por algún tipo de enfermedad, y de manera menos frecuente, para realizar vacunaciones y desparasitaciones. No se desparasita al 34% de los animales, y cuando se realiza, se hace anualmente en el 43% de los casos. Las vacunaciones no se realizan en el 53% de las explotaciones y el 34% de criadores no responde a esta pregunta o simplemente no recuerda haberlo hecho. Las vacunas más utilizadas, y casi las únicas, son el tétanos y la gripe.

Las enfermedades más frecuentes en la cría del CPC son las diarreas, seguidas de los resfriados e infecciones. En recría y adultos, las enfermedades más comunes son cojeras, resfriados y paperas. La falta de visitas del veterinario es alta debido también a que los ganaderos utilizan remedios caseros. Generalmente, los criadores tienen

botiquín en sus dependencias, conteniendo, como lo más común, desinfectantes, antibióticos, antiinflamatorios y antiparasitarios. Otra falta grave que cometen muchos criadores es la falta de limpieza y desinfección de las instalaciones. Solamente el 14% realiza algún tipo de limpieza. Si se mantuvieran las dependencias limpias se disminuiría aún más la intervención del veterinario, y por consiguiente, sería un caballo casi perfecto para las condiciones agrestes en las que habita.

4.1.6. La economía en las explotaciones

El 97% de las explotaciones no están integradas en un sistema empresarial, ya sea una cooperativa o similar, demostrando que los criadores no tienen el suficiente apoyo de entidades que podrían ayudar a resolver deficiencias de venta, comercialización, capacitación, etc. El 61% no recibe subvenciones agrarias, el 37% recibe una subvención parcial y sólo el 2% recibe una subvención total. Las comarcas que perciben una mayor ayuda económica son CE y RI, con un 75% y un 74%, respectivamente, de explotaciones beneficiadas. En contraposición, las comarcas AR y VA son las que menos reciben este tipo de ayudas, con sólo el 8% y 5%, respectivamente. Todo esto lleva a dar una mala calificación en el 54% de los encuestados para el rendimiento económico de la producción ganadera: un 38% la da como regular, sólo un 7% como buena, y ningún encuestado da una calificación de excelente. Los resultados anteriores son datos que pretenden dar a conocer el malestar que existe con las utilidades o ganancias generadas por el negocio equino cárnico, siendo necesaria una reforma por parte de entidades gubernamentales o privadas para aliviar los grandes esfuerzos que se realizan día a día para mantener una raza autóctona muy valorada en su campo.

Para una revisión más en profundidad de los resultados, volvemos a remitir al lector a la Tesis de Máster (Infante 2008).

4.1.7. Comparación de la caracterización estructural con respecto a otras razas equinas cárnicas españolas

El CPC tiene el mayor censo equino, además del mayor número de explotaciones, con respecto a las razas Jaca Navarra (JAC), Burguete (BUR) e Hispano-Bretón (HB) (Tabla 5). El porcentaje de criadores del CPC mayores de 49 años (46%) es similar al de las razas BUR e HB con el 45% y 47% respectivamente, a diferencia de los criadores de la JAC con el 22%. El problema del envejecimiento de los criadores es generalizado para la actividad ganadera cárnica equina, y de la misma manera, la continuidad de las

explotaciones no está garantizada en un elevadísimo porcentaje. El BUR es la única raza que casi con la mitad de sus criadores afirma dicha continuidad, a diferencia del resto de razas que no llegan al 20% de respuestas afirmativas. La tradición familiar ha sido para todas las razas la principal respuesta dada como motivo de la actual permanencia de las explotaciones (>60%).

Tabla 5. Número de explotaciones y censo total por razas equinas cárnicas españolas (Proyecto INIA RZ2004-00023).

	Jaca Navarra	Burguete	Hispano-Bretón	CPC
Número de explotaciones	26	190	402	432
Censo Total	595	4007	3591	4513

4.2. CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DEL CAVALL PIRINENC CATALÀ

4.2.1. Estadísticos descriptivos

En la Tabla 6, se presentan los resultados de los principales estadísticos (media, desviación estándar (SD) y significación estadística) correspondientes al estudio de las 30 variables zoométricas analizadas para la población de hembras en general y para cada subpoblación de hembras de las 7 comarcas. Asimismo, la Tabla 7 muestra los principales estadísticos (media, desviación estándar (SD), coeficiente de variación (CV) y significación estadística) para las poblaciones de machos y hembras:



Cavall Pirinenc Català

Tabla 6. Análisis de la varianza para el efecto comarca para los valores de las medidas morfométricas (cm) tomadas en la población y subpoblaciones (comarcas) de hembras.

Medida zoométrica / Comarca	MEDIA	VAL D'ARAN (a)	ALTA RIBAG (b)	P. JUSSÀ (c)	ALT URGEL (d)	P. SOBIRÀ (e)	CERDANYA (f)	RIPOLLÈS (g)
Alzada a la cruz	ALC 149,75 ± 5,24	150,40 ± 3,46 c	148,34 ± 4,47 f	143,45 ± 4,25 adef	150,07 ± 4,46 c	152,09 ± 4,63 cg	152,96 ± 3,90 cbg	147,44 ± 6,27 ef
Alzada al punto mas bajo de la cruz	ALPC 143,32 ± 5,01	143,78 ± 2,44 c	142,80 ± 5,14	138,27 ± 4,34 adef	145,75 ± 3,46 cg	144,34 ± 4,34 c	145,82 ± 4,41 cg	140,00 ± 5,59 df
Alzada a la mitad del dorso	ALMD 141,47 ± 4,77	141,78 ± 2,71	140,93 ± 4,80	136,90 ± 5,23 ef	141,21 ± 4,29	142,18 ± 4,43 c	144,18 ± 4,21 cg	139,94 ± 5,11 f
Alzada anterior de la grupa	ALNG 141,3 ± 4,96	142,34 ± 3,36 c	140,73 ± 5,58	136,72 ± 5,34 aef	141,00 ± 3,89	143,71 ± 3,87 c	142,56 ± 4,15 c	140,02 ± 6,01
Alzada al nacimiento de la cola	ALNC 138,04 ± 5,32	138,09 ± 4,06 c	136,97 ± 4,69 f	131,90 ± 4,16 adef	139,14 ± 4,36 c	140,68 ± 4,23 cg	141,06 ± 4,09 bcg	135,18 ± 6,30 ef
Alzada posterior de la grupa	ALPG 121,75 ± 5,1	122,03 ± 3,21 c	121,08 ± 5,78 c	115,63 ± 4,20 abdef	122,07 ± 3,55 c	124,40 ± 4,34 cg	124,39 ± 4,01 cg	119,34 ± 5,24 ef
Anchura pecho	AP 30,02 ± 2,67	30,46 ± 1,76	29,89 ± 2,96	28,54 ± 1,40 f	28,78 ± 2,22 f	30,71 ± 3,03	31,53 ± 2,26 cdg	28,71 ± 2,73 f
Anchura de pecho por fuera	APF 48,53 ± 3,75	48,34 ± 2,98 f	47,58 ± 3,48 f	46,77 ± 3,93 f	47,10 ± 2,13 f	48,46 ± 2,84 f	51,91 ± 3,54 abcdg	46,84 ± 3,57 f
Altura al hueso subesternal	AHS 82,69 ± 3,99	82,62 ± 5,34 c	80,91 ± 3,62 f	77,22 ± 2,97 adefg	84,28 ± 2,58 c	84,00 ± 3,13 c	84,91 ± 3,86 bc	82,42 ± 3,46 c
Diámetro bicostal	DB 50,62 ± 4,37	49,84 ± 4,47	50,30 ± 4,11	50,27 ± 5,79	50,71 ± 3,79	48,84 ± 2,97 f	53,63 ± 3,85 eg	48,73 ± 4,02 f
Anchura Porcion anterior de grupa	APAG 56,48 ± 2,81	55,31 ± 2,21	56,95 ± 2,67	56,05 ± 2,47	56,03 ± 3,05	58,06 ± 1,86 g	57,15 ± 2,33	55,10 ± 3,81 e
Anchura de grupa en trocánteres	AGT 59,55 ± 3,25	58,43 ± 3,28 f	58,73 ± 2,56 f	55,65 ± 2,67 defg	59,82 ± 2,60 cf	59,00 ± 2,32 cf	62,51 ± 2,54 abcdg	59,28 ± 3,03 cf
Anchura porcion posterior de grupa	APG 31,03 ± 3,04	32,00 ± 1,74 g	33,25 ± 2,12 efg	33,22 ± 1,83 g	31,32 ± 1,74 g	30,84 ± 2,27 bg	30,72 ± 2,59 bg	27,02 ± 3,33 abcd
Diámetro dorso esternal	DD 69,18 ± 3,02	67,93 ± 2,03 f	68,10 ± 2,31 f	66,59 ± 1,82 df	70,07 ± 3,43 c	69,28 ± 2,57 f	71,91 ± 2,39 abceg	68,13 ± 3,00 f
Diámetro longitudinal	DL 167,24 ± 6,69	164,93 ± 7,29 f	166,72 ± 5,53 f	160,90 ± 5,58 def	170,64 ± 7,68 cg	167,96 ± 3,71 c	171,74 ± 3,63 abcg	163,50 ± 7,28 df
Longitud de cabeza	LC 60,16 ± 2,45	61,21 ± 1,58 c	59,58 ± 2,42	57,90 ± 2,45 af	60,64 ± 1,78	60,00 ± 2,28	60,96 ± 2,26 c	59,89 ± 3,08
Longitud de craneo	LCR 16,76 ± 1,51	17,21 ± 1,16 g	16,82 ± 1,35	16,18 ± 1,56 d	18,00 ± 1,56 ceg	16,25 ± 0,93 d	17,17 ± 1,23 g	15,57 ± 1,70 adf
Longitud de cara	LH 42,84 ± 2,29	43,40 ± 1,64 c	42,56 ± 2,24	40,45 ± 1,35 aefg	42,07 ± 2,00	43,00 ± 1,41 c	43,10 ± 1,92 c	44,15 ± 3,30 c
Anchura de cabeza	AC 22,6 ± 0,91	22,71 ± 0,68	22,75 ± 1,00	22,27 ± 0,84	22,92 ± 0,97	22,73 ± 0,67	22,57 ± 1,04	22,23 ± 0,88
Anchura de craneo	ACR 17,62 ± 0,97	17,78 ± 0,98	17,56 ± 0,90	17,24 ± 0,82	17,35 ± 1,21	17,56 ± 0,88	18,05 ± 0,97	17,21 ± 0,85
Anchura de cara	AH 19,24 ± 0,8	19,25 ± 0,68	19,13 ± 0,74	18,81 ± 0,78	19,60 ± 1,07	19,33 ± 0,61	19,51 ± 0,78	18,86 ± 0,70
Profundidad de cabeza	PH 30,64 ± 1,45	30,71 ± 1,27	30,61 ± 1,70	29,36 ± 1,02 ef	30,46 ± 1,46	31,16 ± 1,30 cg	31,55 ± 1,14 cg	29,73 ± 0,97 ef
Longitud de la grupa	LG 57,66 ± 3,27	57,75 ± 2,08 cf	57,47 ± 2,36 f	54,59 ± 2,36 aef	55,21 ± 3,32 f	58,10 ± 2,64 cf	60,75 ± 2,37 abcdg	56,34 ± 3,35 f
Altura al corvejón	ACO 56,26 ± 3,13	56,43 ± 2,52	55,77 ± 2,43 f	54,22 ± 1,99 f	55,64 ± 1,94 f	56,40 ± 2,66	58,94 ± 2,42 bcdg	54,13 ± 4,088
Longitud de dorso	LD 34,78 ± 2,49	35,43 ± 1,89	34,61 ± 1,98	34,09 ± 2,14	34,14 ± 1,96	34,56 ± 3,26	35,70 ± 2,96 g	34,10 ± 2,34 f
Longitud de lomo	LL 35,1 ± 2,29	35,03 ± 3,16	35,43 ± 2,10	34,27 ± 1,75	33,92 ± 1,71 f	35,80 ± 1,23	36,36 ± 1,97 dg	33,68 ± 3,11 f
Anchura de dorso	AD 28,03 ± 1,96	28,34 ± 1,63 g	28,61 ± 1,97 g	28,22 ± 1,12 g	28,82 ± 1,77 g	27,90 ± 2,06	28,31 ± 1,57 g	26,13 ± 2,22 abcd
Anchura de Lomo	AL 33,74 ± 2,37	34,43 ± 1,73 g	34,04 ± 2,31 g	33,00 ± 1,53	33,07 ± 1,32	33,80 ± 1,66	35,16 ± 2,76 g	31,63 ± 2,19 abf
Perímetro caña anterior	PCA 22,79 ± 1,59	22,59 ± 1,08 f	22,50 ± 1,97 f	21,60 ± 0,73 f	22,14 ± 2,07 f	22,66 ± 0,58	24,00 ± 1,11 abcdg	22,63 ± 1,66 f
Perímetro torácico	PT 198,5 ± 10,49	196,40 ± 8,49 f	194,86 ± 8,75 f	189,95 ± 7,98 df	201,42 ± 11,77 c	197,70 ± 8,63 f	207,50 ± 8,05 abceg	193,71 ± 9,78 f

Cada comarca está representada con una letra: Val d'Aran (a) n=16, Alta Ribagorça (b) n=23, Pallars Jussà (c) n=11, Alt Urgell (d) n=14, Pallars Sobirà (e) n=16, Cerdanya (f) n=29 y Ripollès (g) n=19, de tal manera que frente a cada medida, para cada comarca, se encuentra la letra de las comarcas con las que presenta diferencias significativas ($p < 0,05$).

Tabla 7. Análisis de la varianza para el efecto sexo y valores de las medidas morfométricas (cm) para las poblaciones demachos (M=20) y hembras (H=128) del CPC.

VARIABLE		Sexo	Media	SD	CV	Sig.
Alzada a la cruz	ALC	M	154,27	4,53	2,93	***
		H	149,75	5,24	3,5	
Alzada al punto más bajo de la cruz	ALPC	M	148,22	5,38	3,63	***
		H	143,32	5,01	3,49	
Alzada a la mitad del dorso	ALMD	M	145,07	4,04	2,78	**
		H	141,47	4,77	3,37	
Alzada anterior de la grupa	ALNG	M	144,37	4,22	2,92	**
		H	141,3	4,96	3,51	
Alzada al nacimiento de la cola	ALNC	M	140,67	4,23	3	*
		H	138,04	5,32	3,85	
Alzada posterior de la grupa	ALPG	M	124,47	3,8	3,05	*
		H	121,75	5,1	4,19	
Anchura pecho	AP	M	33,37	2,39	7,17	***
		H	30,02	2,67	8,84	
Anchura de pecho por fuera	APF	M	55,22	3,2	5,79	***
		H	48,53	3,75	7,72	
Altura al hueco subesternal	AHS	M	86,45	4,66	5,39	***
		H	82,69	3,99	4,82	
Diámetro bicostal	DB	M	53,02	3,98	7,52	*
		H	50,62	4,37	8,64	
Anchura porción anterior de grupa	APAG	M	53,77	3,81	7,1	***
		H	56,48	2,81	4,97	
Anchura de grupa en trocánteres	AGT	M	60,6	3,24	5,35	n.s.
		H	59,55	3,25	5,46	
Anchura porción posterior de grupa	APG	M	32,37	2,95	9,11	n.s.
		H	31,03	3,04	9,81	
Diámetro dorso esternal	DD	M	71,57	4,65	6,5	*
		H	69,18	3,02	4,37	
Diámetro longitudinal	DL	M	169,25	8,42	4,97	n.s.
		H	167,24	6,69	4	
Longitud de cabeza	LC	M	61,25	3,13	5,11	n.s.
		H	60,16	2,45	4,08	
Longitud de cráneo	LCR	M	18	2,62	14,58	**
		H	16,76	1,51	9,01	
Longitud de cara	LH	M	42,87	4,58	10,7	n.s.
		H	42,84	2,29	5,34	
Anchura de cabeza	AC	M	23,55	1,14	4,84	***
		H	22,6	0,91	4,05	
Anchura de cráneo	ACR	M	18,23	1,43	7,88	*
		H	17,62	0,97	5,51	
Anchura de cara	AH	M	19,89	0,79	3,98	**
		H	19,24	0,8	4,16	
Profundidad de cabeza	PH	M	32	1,91	5,99	***
		H	30,64	1,45	4,74	
Longitud de la grupa	LG	M	57,35	2,63	4,59	n.s.
		H	57,66	3,27	5,68	
Altura al corvejón	ACO	M	57,12	2,14	3,75	n.s.
		H	56,26	3,13	5,56	
Longitud de dorso	LD	M	36,37	2,66	7,32	**
		H	34,78	2,49	7,17	

VARIABLE		Sexo	Media	SD	CV	Sig.
Longitud de lomo	LL	M	34,15	2,55	7,48	n.s.
		H	35,1	2,29	6,53	
Anchura de dorso	AD	M	31,35	3,43	10,96	***
		H	28,03	1,96	7	
Anchura de lomo	AL	M	36,22	3,3	9,12	***
		H	33,74	2,37	7,03	
Perímetro caña anterior	PCA	M	25,89	1,49	5,77	***
		H	22,79	1,59	6,98	
Perímetro torácico	PT	M	202,92	11,72	5,78	n.s.
		H	198,5	10,49	5,28	

Significancia (*, $p < 0,05$; **, $p < 0,01$; ***, $p < 0,001$; n.s., no significativo)

4.2.2. Análisis de la varianza

4.2.2.1. Análisis de la varianza en las yeguas para el efecto comarca

Como promedio, se encontró que el mayor número de diferencias significativas entre comarcas por variable correspondió a Cerdanya (CE), con 2,43 diferencias por variable, seguido por Pallars Jussà (PJ), Ripollès (RI), Pallars Sobirà (PS), Alt Urgell (AU), Val d'Aran (VA) y Alta Ribagorça (AR), con 1,66, 1,36, 0,86, 0,76, 0,66 y 0,56 diferencias por variable, respectivamente. Estos valores los podemos considerar bajos, al tener en cuenta que si una comarca fuese muy diferente al resto tendría por lo menos una media de 3 diferencias significativas (la media máxima sería 6, que es el sumatorio del resto de comarcas comparadas). Era de esperar que CE tuviese el mayor número de diferencias entre las comarcas, debido a su gran tradición y trayectoria ganadera. Ésta se inició hace siglos, a partir de la selección de ejemplares de formato hipermétrico para el trabajo, en primera instancia, para las labores de tracción y transporte por parte de agricultores, así como para el ejército (Cabús 1988). Actualmente, estos caracteres han ido cambiando su funcionalidad sin cambiar demasiado en estructura (cambio del uso de la masa muscular de fuerza a alimento). Pallars Jussà es la segunda comarca con más diferencias por variable. Esto es debido a que tiene la media más baja para la mayoría de los caracteres analizados, y aunque son utilizados también como animales de tipo cárnico, no tienen las mismas dimensiones que el resto de comarcas. Además, puede haber influido el hecho de que las comarcas más limítrofes con los Pirineos franceses hayan utilizado con más frecuencia a la raza bretona como mejorante de sus caballos. Es interesante constatar que CE no presenta diferencias significativas con PJ para varios caracteres como: longitud del dorso (LD), longitud de lomo (LL), anchura del dorso (AD) y anchura del lomo (AL), a diferencia de las alzadas, las cuales son todas significativamente diferentes. Esta igualdad para los caracteres del lomo y dorso podría

ser un indicador de selección positiva con fines cárnicos. También es interesante observar que CE muestra un mayor número de diferencias significativas con RI que con PJ (23 con RI *versus* 20 del PJ), pues ambas son comarcas colindantes y aportan un elevado porcentaje de individuos al censo total. Posiblemente estas diferencias podrían originarse en el diferente proceso de cría y selección, y tal vez, a la inmigración de otra(s) raza(s) en las explotaciones del RI.

Es interesante observar, asimismo, que la comarca del RI difiere estadísticamente de todas las demás para el carácter APG, teniendo su media muy por debajo del resto. A diferencia del RI, CE difiere estadísticamente del resto de comarcas para las variables APF, AGT, DD, DL, LG, ACO, PCA y PT debido a que sus medias están por encima de las demás poblaciones. En contraposición al caballo de CE, está el del PJ, el cual está por debajo de la media en varios caracteres morfológicos (ALC, ALPC, ALPG, AHS, AGT y LH). El ganado del PJ es un poco más bajo y de proporciones más exageradas en su tronco con relación a sus extremidades.

Para el resto de comarcas no se presentan grandes diferencias entre sus variables, de tal manera que se puede afirmar que existe un elevado grado de homogeneidad racial, siendo las comarcas de la CE y el PJ las de medidas más extremas. Las variables de la cabeza AC, ACR y AH no muestran diferencias significativas entre comarcas, pero se debe interpretar con cautela, pues estas medidas van asociadas a una menor precisión en el momento de toma de las mismas. No obstante, al contrastar nuestros resultados con los obtenidos por Parés (2009b), quien mide sobre la calavera, se observa una concordancia entre las medias para los caracteres LC y AC, siendo la diferencia para los dos caracteres menor a 62 milímetros.

4.2.2.2. Análisis de la varianza para el efecto de variación sexo

El análisis de los datos verificó la existencia de dimorfismo sexual en el CPC. De las 30 variables morfológicas, 21 son significativamente diferentes entre los sexos (Tabla 7). Todas las alzas presentan diferencias significativas, característica común para la especie equina (Aparicio 1986). Las alzas son homogéneas, con un CV inferior siempre al 4,19% (5,39% si incluimos la altura al hueco subesternal (AHS)) y una desviación estándar inferior a 5,38 cm.

Las dispersiones en las medidas de algunos caracteres del tronco entre machos y hembras se solapan, por ello 6 de 14 caracteres no presentan diferencias significativas. Es interesante observar que las variables AD y AL para los machos tienen los CV más altos (10,96% y 9,12%, respectivamente) dentro de los caracteres del tronco, y aun así son significativamente distintos entre machos y hembras.

Para la cabeza, Aparicio (1986) hace especial énfasis en la importancia de la precisión en la toma de estas medidas, pues son, según dicho autor, determinantes para realizar una buena diagnosis racial; además, se deberían de realizar sobre la calavera y no sobre el animal vivo, debido a que el cráneo está cubierto lateralmente por una musculatura que puede variar de volumen en función del estado de carnes, y la base ósea es difícil de delimitar para su medición. Podría ser ésta una posible explicación de los elevados valores de CV en variables como LCR (con 14,58% para machos y 9,01% para hembras) y LH (10,7% para machos). Además, anteriormente se documentó que las medidas AC, ACR y AH no mostraron diferencias significativas entre las comarcas y, posiblemente, podría ser debido en parte a este motivo. Estos valores de CV, elevados aunque no desproporcionados, podrían deberse, además de lo anteriormente expuesto por Aparicio, a la gran dificultad en la toma de medidas de cabeza en este tipo de caballos, extremadamente nerviosos y briosos.

El perímetro de la caña anterior (PCA), una de las dos únicas medidas en las extremidades, muestra una desviación estándar de 1,59 cm y 1,49 cm para hembras y machos, respectivamente, y coeficientes de variación con valores inferiores a 6,98%. Se esperaban valores de CV un poco más altos a los observados, debido a la heterogeneidad dada en el paisaje pirenaico. *A priori*, caballos con diámetros de cañas pequeños serían aptos para lugares montañosos (y/o rocosos) con pronunciadas pendientes, en cambio perímetros de cañas grandes serían aptos para terrenos más llanos (Fanlo *et al.* 2002). La altura al corvejón muestra una desviación estándar de 2,14 cm y 3,13 cm para hembras y machos, respectivamente, y coeficientes de variación menores al 6%, resultado que muestra una gran homogeneidad de este carácter, además no presenta diferencia significativa entre sexos.

4.2.2.3. Análisis de la varianza de los índices corporales etnológicos y de apreciación de aptitudes para los efectos comarca y sexo

En la Tabla 8, se presentan los resultados de los principales estadísticos (media, SD y significación estadística) correspondientes al estudio de los 17 índices zoométricos analizados para la población de hembras en general y para cada subpoblación de hembras de las 7 comarcas. Asimismo, la Tabla 9 muestra los principales estadísticos (media, SD y significación estadística) para las poblaciones de machos y hembras:



Cavall Pirinenc Català

Tabla 8. Análisis de la varianza para el efecto comarca de los índices corporales para el conjunto de hembras en general y para las 7 comarcas.

Comarca	Índice	Abv.	CPC ♀		VAL D'ARAN (a)			ALTA RIBAGORÇA (b)			P.JUSSÀ (c)		
			Media	DS	Media	DS	P<0,05	Media	DS	P<0,05	Media	DS	P<0,05
Corporal	IC		84,40	3,40	84,04	3,39		85,66	3,44		84,80	2,16	
Torácico	IT		73,61	6,71	75,18	11,58		75,10	7,77		75,48	8,30	
Craneal	ICR		105,82	10,62	103,80	10,40		104,68	8,17		109,41	12,04	d
Cefálico	ICE		37,62	1,81	37,12	1,13		38,16	1,95		38,49	1,25	
Proporcionalidad	IP		89,62	3,01	91,31	3,38	d	89,05	2,34		89,19	2,31	
Dáctilo-Torácico	IDT		11,49	0,65	11,51	0,55		11,54	0,69		11,38	0,47	
Alzada Pectoral	IAP		0,41	0,03	0,43	0,02	df	0,42	0,04	df	0,41	0,02	
Índice 1	I1		1,32	0,05	1,31	0,05	f	1,31	0,06	f	1,32	0,05	
Índice 2	I2		1,06	0,03	1,06	0,03		1,05	0,03		1,05	0,02	
Índice 3	I3		0,55	0,02	0,55	0,02		0,55	0,02		0,54	0,02	
Índice 4	I4		0,28	0,02	0,27	0,02		0,28	0,02		0,28	0,01	
Dáctilo-Costal	IDC		76,19	6,61	74,34	4,77		75,23	6,33		75,71	4,76	
Pelvico	IPV		98,04	5,64	95,80	2,98	cd	98,88	5,76	f	103,10	4,12	af
Pelviano Longitudinal	IPL		38,51	1,74	38,40	1,23		38,76	1,81	d	38,06	1,45	f
Pelviano Transversal	IPT		37,73	1,70	36,78	1,31	bc	38,40	1,44	a	39,18	1,14	af
Prof. Relat. del Tórax	IPRT		46,21	2,21	44,43	2,87	f	45,37	3,14		46,44	1,50	
Podal Posterior	IPP		40,79	1,94	40,88	1,75		40,77	1,78		41,11	0,80	

Comarca	Índice	Abv.	ALT URGELL (d)			P.SOBIRÀ (e)			CERDANYA (f)			RIPOLLÈS (g)		
			Media	DS	P<0,05	Media	DS	P<0,05	Media	DS	P<0,05	Media	DS	P<0,05
Corporal	IC		84,86	4,15		85,09	3,54		82,86	3,06		84,48	3,23	
Torácico	IT		72,33	3,32		70,51	3,79		74,60	4,91		71,47	3,66	
Craneal	ICR		96,92	8,79	ceg	108,35	8,52	d	105,48	7,83		111,84	14,35	d
Cefálico	ICE		37,82	1,44		38,09	1,95		37,07	2,19		37,18	1,63	
Proporcionalidad	IP		88,09	4,33	a	90,59	2,51		89,09	2,22		90,25	3,41	
Dáctilo-Torácico	IDT		11,01	1,03	g	11,49	0,59		11,57	0,52		11,72	0,53	d
Alzada Pectoral	IAP		0,40	0,03	abe	0,42	0,03	df	0,39	0,02	abeg	0,41	0,02	f
Índice 1	I1		1,34	0,06		1,30	0,05	f	1,36	0,05	abe	1,31	0,04	
Índice 2	I2		1,06	0,04		1,06	0,02		1,07	0,02		1,05	0,02	
Índice 3	I3		0,56	0,02		0,55	0,02		0,56	0,02		0,56	0,02	
Índice 4	I4		0,26	0,03	f	0,27	0,01		0,28	0,02	d	0,28	0,02	
Dáctilo-Costal	IDC		77,51	10,34		74,45	8,37		76,36	4,76		79,43	6,16	
Pelvico	IPV		101,66	5,66	af	100,10	5,04	f	94,15	4,35	bcde	97,91	5,91	
Pelviano Longitudinal	IPL		36,78	1,75	bf	38,20	1,46	f	39,73	1,39	cdeg	38,21	1,65	f
Pelviano Transversal	IPT		37,34	1,82		38,20	1,55		37,38	1,59	c	37,37	2,01	
Prof. Relat. del Tórax	IPRT		46,71	2,21		45,57	1,63		47,02	1,15	a	46,22	1,12	
Podal Posterior	IPP		40,01	1,42		40,15	2,02		41,81	1,94	g	40,04	2,40	f

Cada comarca está representada con una letra: Val d'Aran (a) n=16, Alta Ribagorça (b) n=23, Pallars Jussà (c) n=11, Alt Urgell (d) n=14, Pallars Sobirà (e) n=16, Cerdanya (f) n=29 y Ripollès (g) n=19, de tal manera que frente a cada medida, para cada comarca, se encuentra la letra de las comarcas con las que presenta diferencias significativas (p<0,05).

Tabla 9. Análisis de la varianza para el efecto sexo de los índices corporales en las subpoblaciones de hembras (n=128) y machos (n=20) de CPC.

Índice	Sexo	Media	SD	C.V.	Significancia
IC	Hembras	84,4	3,4	4,02	n.s.
	Machos	83,48	2,89	3,46	
IT	Hembras	73,61	5,23	7,14	n.s.
	Machos	74,15	4,16	5,6	
ICR	Hembras	105,82	10,62	10,03	n.s.
	Machos	102,19	14,59	14,27	
ICE	Hembras	37,62	1,81	4,81	*
	Machos	38,62	2,82	7,3	
IP	Hembras	89,62	3,01	3,36	*
	Machos	91,29	3,69	4,04	
IDT	Hembras	11,49	0,65	5,65	***
	Machos	12,76	0,58	4,57	
IAP	Hembras	0,41	0,02	6,03	n.s.
	Machos	0,41	0,03	7,87	
I1	Hembras	1,32	0,05	4,04	n.s.
	Machos	1,32	0,06	4,4	
I2	Hembras	1,06	0,03	2,56	n.s.
	Machos	1,07	0,03	2,57	
I3	Hembras	0,55	0,02	3,9	n.s.
	Machos	0,56	0,02	3,9	
I4	Hembras	0,28	0,02	6,91	***
	Machos	0,3	0,02	5,88	
IDC	Hembras	76,19	6,61	8,67	n.s.
	Machos	78,14	4,25	5,43	
IPV	Hembras	98,04	5,65	5,75	**
	Machos	94,05	9,12	9,7	
IPL	Hembras	38,51	1,74	4,5	**
	Machos	37,21	2,12	5,7	
IPT	Hembras	37,73	1,7	4,5	***
	Machos	34,86	2,32	6,66	
IPRT	Hembras	46,21	1,47	3,19	n.s.
	Machos	46,38	2,4	5,17	
IPP	Hembras	40,79	1,94	4,74	n.s.
	Machos	40,64	1,85	4,55	

Significancia (*, $p < 0,05$; **, $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; n.s., no significativo)

La comarca de CE muestra el mayor número de diferencias significativas (19) con las demás comarcas (diferencias significativas entre todas las comarcas para todas las variables), siendo las variables IPV, IPL e IAP las que mayor número de diferencias presentan (4 cada una). El valor del IPL para CE está bastante por encima del resto de comarcas, posiblemente debido a la gran longitud de grupa que ésta posee de media. Este índice hubiese sido mayor si la CE tuviese una menor alzada a la cruz.

Se esperaba que existiera un mayor número de diferencias significativas por parte de las comarcas RI y PJ con CE, ya que las variables morfológicas difieren significativamente en gran número. La explicación más plausible es que se dan relaciones proporcionales similares en los ejemplares de CPC de las tres comarcas. En otras palabras, los individuos de estas comarcas representan formatos distintos de un mismo molde.

4.2.2.3.1. Índices etnológicos o morfoestructurales

Índice corporal (IC)

El Índice Corporal (IC) nos da una estimación de la proporcionalidad de la raza. El valor de IC, para el global de la raza, muestra un valor medio de 84,40; proporciones corporales propias de individuos mesolíneos. La comarca CE difiere del resto, pudiéndose clasificar según este índice como brevilínea, posiblemente por la fuerte selección de los animales hacia amplios perímetros torácicos.

No se han observado diferencias significativas entre sexos para este índice.

Índice torácico (IT)

Este índice debería ser complementario al corporal (IC) para determinar la proporcionalidad de la raza, sin embargo, da una información diferente al IC. El IT de la población global es de 73,61, clasificando por tanto los caballos como de tipo longilíneo (según la clasificación baroniana: ultralongilíneo), aunque realmente lo que nos está indicando es la compacidad de la caja torácica. Debemos recordar que estos caballos son descendientes del antiguo Caballo Catalán, el cual poseía características propias de animales longilíneos, así que la relación obtenida para estas dos variables (DB y DD) podría estar más ligada a este tipo de caballo ya extinto.

Entre los sexos, para este índice, no se observaron diferencias significativas.

Índice craneal e índice cefálico (ICR e ICE)

La media para el ICR es de 105,82, clasificando a esta raza como braquicraneota (longitud de cráneo corta). Este índice no mostró diferencias estadísticamente significativas entre hembras y machos. A diferencia del ICR el ICE sí presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los sexos, siendo en ambos casos de tipo dolicocefalo (longitud de cara larga). El índice Craneal presentó el mayor Coeficiente de Variación entre índices, esto posiblemente por la dificultad que acarrea tomar las medidas craneales. Los machos mostraron un mayor valor para el CV, tal vez esto debido a que la toma en machos es más complicada, además el tamaño muestral no es muy alto.

Índice de proporcionalidad (IP)

De manera similar al índice torácico (IT), este índice clasifica al CPC como de tipo longilíneo, tanto los machos como las hembras, al tener ambos valores inferiores a 100. Sin embargo, en este caso, se observan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre sexos, tendiendo las hembras a ser algo menos longilíneas.

4.2.2.3.2. Índices morfofuncionales de aptitud trabajo**Índice dátilo-torácico (IDT)**

Teóricamente este índice, llamado también Metacarpo-Torácico, nos indica cómo es el formato del animal, y muestra la relación existente entre la masa del individuo y los miembros que la soportan. Todos los individuos de las 7 comarcas presentaron valores superiores a 11, clasificando por tanto al CPC como animal de tipo hipermétrico. Se encontraron diferencias altamente significativas ($p < 0,001$) entre sexos. La media de los machos está bastante por encima del punto 11,0 de referencia del índice (12,76), a diferencia de las hembras cuya media es de 11,50.

Índice de alzada pectoral (IAP)

Nos indica la proporcionalidad que existe entre la alzada esternal (alejada o cercana al suelo) y la masa del animal. Valores elevados son indicadores de mayor esbeltez de los individuos. A nivel de comarcas, se observa que los animales menos esbeltos son los pertenecientes a la CE. Este bajo valor de índice se debe a que la CE tiene una alzada más alta, un diámetro dorso-esternal más largo, y un perímetro torácico más amplio. Por el contrario, el VA posee unas proporciones que le otorgan mayor esbeltez, aunque es a

costa de un menor rendimiento cárnico. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre sexos a nivel de raza, siendo ambos igual de “esbeltos”.

I1

Este índice relaciona el perímetro torácico con la alzada a la cruz, y nos informa de la aptitud al trabajo del animal, por su relación directa con la resistencia a la fatiga. La relación óptima entre ambas variables sería aquélla en que su ratio no fuera superior a 1,125. Según este parámetro, el CPC (1,32 de ratio) no posee una gran aptitud continuada para el trabajo, en contraste, por ejemplo, con el burro de raza catalana (con un 1,12 de ratio) (García 2006). De antemano, se aprecia que, aún pudiendo ser animales con suficiente capacidad de arrastre, no son constantes en el tiempo debido a su alta predisposición a la fatiga. A nivel de comarcas, los caballos de CE serían los menos aptos para el trabajo de campo.

I2

El I2, que relaciona la alzada a la cruz con la alzada a la grupa, también está relacionado con la aptitud al trabajo, y considera un animal bien proporcionado y apto cuando las dos medidas son similares ($I2 \approx 1$). Aunque los valores no son elevados, con una media de 1,06 de ratio, podemos inferir que el centro de gravedad está un poco descentrado. El centro de gravedad está desplazado hacia las extremidades posteriores y de esta manera se pueden sobrecargar. Este índice, complementado con el I1, nos indicaría que estos animales no son los más aptos para el arduo trabajo de arrastre en general.

I3

Este índice, similar a los anteriores, que relaciona la alzada esternal con la alzada a la cruz, apoyaría las argumentaciones anteriores relativas a la capacidad al trabajo del CPC. Su media ($I3=0,55$), sin embargo, encajaría en el límite superior de las proporciones óptimas y más adecuadas para la aptitud trabajo (0,50-0,55). Por comarcas, los individuos de RI, CE y AU serían los menos aptos, y los más adecuados los del PJ, comarca con ejemplares más similares, morfológicamente, al extinto Caballo Catalán. Para los índices I1, I2 e I3 no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre sexos, siendo ambos igual de eficientes (o ineficientes) para las labores de arrastre u otros trabajos forzosos.

I4

El I4, que relaciona el perímetro del hueso caña con la alzada esternal, debería poseer de forma ideal valores cercanos a 0,25 (cada centímetro del perímetro de la caña se debería corresponder a 4 centímetros de alzada al esternón). Las proporciones de este índice, con una media de 0,28, son adecuadas aunque no las más idóneas. Se acercan a las proporciones de 1:4 en todos los individuos de las diferentes comarcas.

Al analizar el I4 entre hembras y machos, se encontró que son estadísticamente muy diferentes ($p<0,001$). Los machos muestran proporciones más cercanas a 1:3, haciéndolos, teóricamente, menos idóneos para las labores de campo. No obstante, debemos realzar el poderío que puede ejercer este tipo de animal en un intervalo corto de tiempo. No debemos olvidar que el CPC tiene grandes influencias de caballos de tiro pesado como el Bretón o el Comtois.

4.2.2.3.3. Índices morfofuncionales de aptitud cárnica**Índice dáctilo-costal (IDC)**

Este índice, también conocido como Metacarpo-Costal, nos informa, de manera indirecta, sobre la cantidad de masa ósea del animal. Se esperaba que la comarca de CE tuviese el valor más alto para este índice, por sus dimensiones corporales, pero es RI la que supera al resto de comarcas.

Índice pélvico (IPV)

El IPV nos da una idea de la estructura de la grupa, estando por tanto muy relacionado con la aptitud reproductiva de la raza. En general, el CPC presenta grupas ligeramente convexitadas con tendencia a la horizontalidad (grupas proporcionadas de similar anchura y longitud), siendo el valor de las hembras significativamente mayor al de los machos ($p<0,01$), los cuales presentan grupas más horizontales.

Índice pelviano longitudinal (IPL)

Este índice da una apreciación de la conformación cárnica del animal y es de gran importancia debido a la actual actividad productiva del CPC. Según este índice la población CPC presenta una buena aptitud para la producción cárnica, pues su valor medio ($IPL=38,51$) no supera en demasía el valor 37 de referencia (Parés 2009a). CE posee los valores más altos con respecto a las demás comarcas, teniendo, además, las grupas más largas y amplias. CE presenta diferencias significativas con RI, PS, PJ y

AU. Es curioso observar que VA y AR tienen valores un poco más altos que el resto (exceptuando la CE), porque no son comarcas tan especializadas en producción de carne ni tienen valores destacados para el IDC y el IDT. Existe una diferencia muy significativa entre hembras y machos ($p < 0,01$): como promedio, las hembras tienen un índice más elevado que los machos. Así, aunque los machos tengan una mayor alzada a la cruz las hembras tienen una longitud de la grupa mucho más destacada, por lo tanto poseen una mayor proporción de carne.

Índice pelviano transversal (IPT)

Al igual que el índice anterior, el IPT nos informa acerca de la conformación cárnica del animal. No se observa una correlación del IPL con el IPT por comarcas. Este índice apoya el resultado dado por el IPL, y las diferencias entre sexos son altamente significativas ($p < 0,001$). De nuevo, son las hembras quienes poseen una mayor proporción de carne en la anchura de grupa con respecto a su alzada a la cruz.

Índice de profundidad relativa del tórax (IPRT)

Este índice nos informa también acerca de la conformación cárnica, siendo los valores más deseables aquéllos superiores a 50 (Parés 2009a). El valor medio para la raza se situó en 46,21, siendo la comarca de CE la que mostró el valor más elevado (47,02) y próximo a 50, difiriendo significativamente tan sólo de VA. Esta comarca, el VA, presenta resultados más modestos en relación a la producción de carne, resultado posiblemente esperado debido a que su personal tiene actividades más afines relacionadas con el turismo que con la actividad ganadera, con lo que la posible mejora selectiva a través de los años no ha sido priorizada.

No se han observado diferencias estadísticamente significativas entre sexos para este índice.

Índice podal posterior (IPP)

Para este índice nos centraremos en la comarca del PJ, ya que tiene el segundo valor de índice más alto después de CE. Los individuos de la comarca PJ, de menores dimensiones corporales y mucho más modestos en formas que el resto, muestran con estos resultados que son un ganado con proporciones bastante bondadosas a la hora de aprovechar su masa muscular. El índice tampoco mostró diferencias significativas entre sexos.

Para una revisión más en profundidad de los resultados morfológicos, remitimos al lector a la Tesis de Máster (Infante 2008).

4.2.2.4. Análisis de correlación para las variables morfológicas

Las relaciones entre las variables zoométricas han sido determinadas mediante un análisis de correlación lineal (SAS/SATAT, 1999). Este análisis y los dendrogramas obtenidos a partir de este programa ofrecen una visualización más gráfica de los resultados, permitiendo identificar las relaciones existentes entre las regiones corporales.

Los coeficientes de correlación de Pearson (1901) entre las 30 variables morfológicas incluidas en el presente estudio se han calculado para ambos sexos de la población del CPC. Las probabilidades de $p < 0,05$ han sido consideradas significativas y los valores de las correlaciones se han clasificado de la siguiente forma:

Correlación alta: $r > 0,50$; correlación media: $0,25 < r < 0,50$; correlación baja a nula: $0 < r < 0,25$, independientemente del signo.



Cavall Pirinenc Català

Tabla 10. Valores de correlación de Pearson entre las distintas variables morfológicas analizadas para la subpoblación de hembras del CPC.

	ALC	ALPC	ALMD	ALNG	ALNC	ALPG	AP	APF	AHS	DB	APAG	AGT
ALC	1,00											
ALPC	0,90 c	1,00										
ALMD	0,88 c	0,90 c	1,00									
ALNG	0,74 c	0,75 c	0,75 c	1,00								
ALNC	0,81 c	0,81 c	0,78 c	0,80 c	1,00							
ALPG	0,67 c	0,66 c	0,62 c	0,62 c	0,81 c	1,00						
AP	0,49 c	0,42 c	0,46 c	0,37 c	0,43 c	0,34 c	1,00					
APF	0,54 c	0,44 c	0,49 c	0,32 c	0,48 c	0,30 c	0,67 c	1,00				
AHS	0,61 c	0,57 c	0,57 c	0,50 c	0,56 c	0,39 c	0,35 c	0,37 c	1,00			
DB	0,39 c	0,37 c	0,39 c	0,24 b	0,43 c	0,24 b	0,50 c	0,79 c	0,20 a	1,00		
APAG	0,49 c	0,42 c	0,42 c	0,31 c	0,46 c	0,38 c	0,24 b	0,41 c	0,18 a	0,42 c	1,00	
AGT	0,53 c	0,48 c	0,48 c	0,32 c	0,54 c	0,33 c	0,43 c	0,78 c	0,40 c	0,72 c	0,44 c	1,00
APG	0,18 a	0,18 a	0,14	0,14	0,18 a	0,15	0,32 c	0,30 c	-0,04	0,33 c	0,30 c	0,08
DD	0,48 c	0,43 c	0,41 c	0,26 b	0,38 c	0,24 b	0,31 c	0,42 c	0,30 c	0,39 c	0,34 c	0,52 c
DL	0,62 c	0,57 c	0,54 c	0,40 c	0,62 c	0,49 c	0,34 c	0,52 c	0,36 c	0,52 c	0,54 c	0,63 c
LC	0,46 c	0,43 c	0,47 c	0,41 c	0,44 c	0,36 c	0,18 a	0,23 b	0,33 c	0,23 a	0,25 b	0,31 c
LCR	0,16	0,27 b	0,15	0,11	0,27 b	0,27 b	0,04	0,05	0,12	0,20 a	0,14	0,10
LH	0,35 c	0,24 b	0,37 c	0,34 c	0,25 b	0,21 a	0,15	0,16	0,29 c	0,05	0,19 a	0,19 a
AC	0,33 c	0,43 c	0,43 c	0,31 c	0,35 c	0,28 b	0,13	0,29 c	0,16	0,31 c	0,40 c	0,22 a
ACR	0,35 c	0,35 c	0,36 c	0,24 b	0,30 c	0,22 a	0,51 c	0,53 c	0,18 a	0,46 c	0,33 c	0,37 c
AH	0,37 c	0,40 c	0,36 c	0,25 b	0,36 c	0,29 c	0,27 b	0,40 c	0,28 b	0,44 c	0,38 c	0,38 c
PH	0,60 c	0,58 c	0,64 c	0,42 c	0,55 c	0,45 c	0,44 c	0,53 c	0,38 c	0,47 c	0,48 c	0,44 c
LG	0,61 c	0,48 c	0,54 c	0,37 c	0,52 c	0,38 c	0,65 c	0,76 c	0,39 c	0,61 c	0,43 c	0,67 c
ACO	0,57 c	0,57 c	0,57 c	0,49 c	0,55 c	0,48 c	0,50 c	0,50 c	0,32 c	0,45 c	0,32 c	0,48 c
LD	0,26 b	0,23 a	0,27 b	0,16	0,18 a	0,08	0,28 b	0,40 c	0,11	0,39 c	0,18 a	0,36 c
LL	0,39 c	0,32 c	0,32 c	0,35 c	0,46 c	0,43 c	0,32 c	0,30 c	0,18 a	0,26 b	0,46 c	0,26 b
AD	0,23 b	0,30 c	0,24 b	0,13	0,26 b	0,21 a	0,23 a	0,28 b	0,04	0,38 c	0,23 b	0,28 b
AL	0,47 c	0,48 c	0,46 c	0,27 b	0,41 c	0,25 b	0,50 c	0,58 c	0,18 a	0,60 c	0,35 c	0,52 c
PCA	0,48 c	0,45 c	0,54 c	0,30 c	0,43 c	0,29 c	0,42 c	0,57 c	0,34 c	0,57 c	0,34 c	0,58 c
PT	0,64 c	0,59 c	0,62 c	0,39 c	0,59 c	0,34 c	0,54 c	0,77 c	0,41 c	0,78 c	0,49 c	0,76 c

Cont.	APG	DD	DL	LC	LCR	LH	AC	ACR	AH	PH	LG	ACO
Cont.	1,00											
DD	0,05	1,00										
DL	0,13	0,58 c	1,00									
LC	-0,03	0,26 b	0,46 c	1,00								
LCR	0,13	0,12	0,34 c	0,42 c	1,00							
LH	-0,13	0,13	0,16	0,69 c	-0,20	1,00						
AC	0,14	0,17	0,44 c	0,30 c	0,26 b	0,11	1,00					
ACR	0,24 b	0,24 b	0,39 c	0,22 a	0,19 a	0,01	0,39 c	1,00				
AH	0,08	0,29 c	0,50 c	0,32 c	0,16	0,20 a	0,45 c	0,35 c	1,00			
PH	0,26 a	0,33 c	0,55 c	0,41 c	0,11	0,34 c	0,43 c	0,42 c	0,61 c	1,00		
LG	0,16	0,46 c	0,58 c	0,28 b	0,04	0,24 b	0,19 a	0,48 c	0,36 c	0,60 c	1,00	
ACO	0,13	0,41 c	0,52 c	0,43 c	0,22 a	0,26 b	0,26 b	0,42 c	0,36 c	0,45 c	0,53 c	1,00
LD	0,05	0,22 a	0,35 c	0,23 a	0,17	0,06	0,13	0,40 c	0,27 b	0,30 c	0,38 c	0,33 c
LL	0,17	0,24 b	0,49 c	0,30 c	0,21 a	0,18 a	0,15	0,21 a	0,13	0,30 c	0,46 c	0,35 c
AD	0,33 c	0,17	0,31 c	0,09	0,21 a	-0,10	0,27 b	0,27 b	0,33 c	0,33 c	0,22 a	0,26 b
AL	0,39 c	0,27 b	0,37 c	0,24 b	0,16	0,05	0,24 b	0,35 c	0,31 c	0,48 c	0,57 c	0,38 c
PCA	0,10	0,47 c	0,54 c	0,38 c	0,16	0,23 a	0,39 c	0,42 c	0,46 c	0,54 c	0,45 c	0,55 c
PT	0,21 a	0,57 c	0,65 c	0,36 c	0,25 b	0,17	0,36 c	0,43 c	0,46 c	0,59 c	0,70 c	0,49 c

Cont.	LD	LL	AD	AL	PCA	PT
Cont.	1,00					
LD	1,00					
LL	0,29 b	1,00				
AD	0,26 b	0,08 a	1,00			
AL	0,40 c	0,26 b	0,49 c	1,00		
PCA	0,32 c	0,21 a	0,36 c	0,47 c	1,00	
PT	0,40 c	0,29 b	0,36 c	0,59 c	0,59 c	1,00

Significancia (a, $p < 0,05$; b, $p < 0,01$; c, $p < 0,001$).

En primer lugar, se observó que en los machos existe casi un 40% de correlaciones no significativas entre variables (datos no mostrados), siendo este resultado muy probablemente debido al bajo número de sementales muestreados (20). En las hembras (n=128), sólo un 12% de las correlaciones no fueron significativas. Los datos que se ofrecen a continuación hacen referencia únicamente a la población de hembras (Tabla 10).

Se observa una correlación elevada y altamente significativa ($p < 0,001$) entre las variables ALC, ALPC, ALMD, ALNG y ALPG. De manera similar, se observa que la AHS tiene una correlación elevada con respecto a casi todas las alzas, a excepción de la ALPG, con la que tendría una correlación media. Esto posiblemente sea debido al análisis mostrado por el índice I2. Según este índice, la región anterior está un poco más elevada que la posterior, transfiriendo así el centro de gravedad a las extremidades posteriores y por tanto sobrecargándolas.

La variable morfológica que tiene un mayor porcentaje de correlaciones positivas significativas con el resto de variables es el diámetro longitudinal (DL), con el 50%, seguido por el perímetro torácico (PT) y la alzada a la cruz (ALC) con el 46% y el 43%, respectivamente. Así, los caracteres DL, PT y ALC son importantes para realizar estudios de diagnóstico racial y de aptitud cárnica.

Se observó un porcentaje muy bajo de correlaciones negativas (1%): LH-AD, LH-LCR, LH-APAG, APG-LC y APG-LCR. De estas correlaciones, la única significativa ($p < 0,05$) fue LH-LCR, es decir que LH tiene una relación inversa con LCR ($r = -0,20$). Estas relaciones afectan en su totalidad a caracteres cefálicos y podrían ser debidas, en parte, a la falta de precisión con que fueron tomadas las medidas, por los motivos explicados anteriormente.

Para visualizar de forma gráfica las relaciones existentes entre las diferentes variables morfológicas analizadas, se realizó un análisis de *clusters*, a partir de los coeficientes de correlación obtenidos, mediante la utilización del algoritmo UPGMA, obteniéndose el dendrograma de relaciones que se muestra en la Figura 9.

Se observa que las variables más relacionadas son las alzas (ALPG, ALPC, ALNG, ALNC, ALC, ALMD Y AHS), todas ellas dentro de un intervalo superior a 0,92 (a excepción de AHS que se relaciona con las demás alzas en un intervalo de 0.84). Por otro lado, se genera otro grupo con variables relacionadas del tronco. DB-PT y DL-DD forman dos subgrupos, íntimamente relacionados, dentro de uno mayor donde están la AGT, el LG y el APAG (todas las anteriores con relaciones mayores a 0,75). De las relaciones por parejas podemos destacar: AP-APF, AH-PH y AD-AL. Y finalmente, los grupos en que se observa una cierta relación de sus variables en zonas del cuerpo diferentes, como los son PCA-AP-APF, con lo que se observa que existe una relación, altamente significativa según la correlación de Pearson, entre la anchura de pecho y el diámetro de caña, esto parece ser debido a que el desarrollo óseo de la caña se ve reflejado además en la anchura del pecho.

Lo que se puede interpretar con los anteriores resultados (correlación y dendrograma), es que para realizar una diagnosis racial fiable se deben incluir los caracteres ALC, DL y PT. El DL y el PT representarían las medidas para el DD, AGT, DB, LG y APAG. La ALC representaría los valores para todas las alzas (ALPG, ALPC, ALNG, ALNC, ALC, ALMD Y AHS). Luego para realizar una mejor diagnosis racial se deben tener en cuenta las medidas PCA representando AP y APF, PH representando a AH y ACR, la AD representando AL, LD. Las medidas para AC, APG, LCR, ACO, LL, LC y LH deberán tomarse, debido a que no tienen una relación explicada por otros caracteres.



Cavall Pirinenc Català

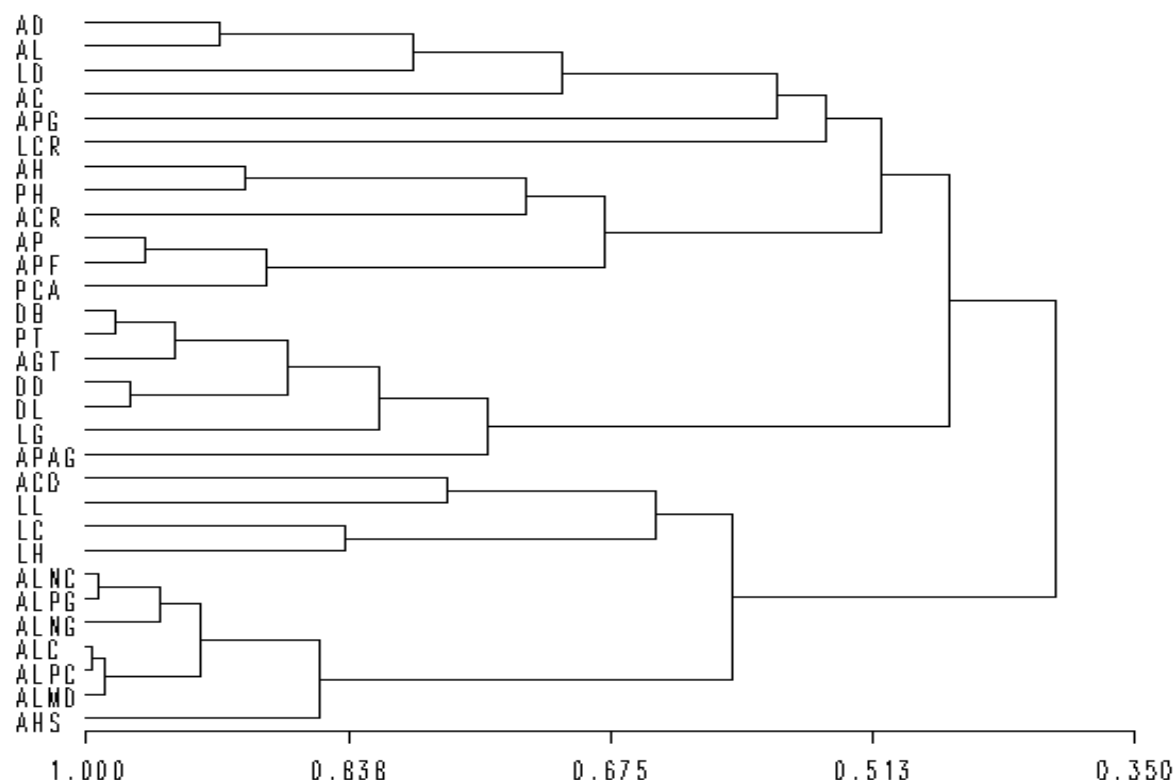


Figura 9. Dendrograma generado aplicando el método del análisis de *clusters*, mediante el algoritmo UPGMA, para las diferentes variables morfológicas en la población de hembras de CPC.

Los gráficos obtenidos del análisis canónico reflejan las proyecciones de los puntos de las 128 hembras de CPC estudiadas, teniendo en cuenta los factores I, II y III de los componentes principales, los cuales explican el 41%, el 25% y 17% (todos con $p < 0,001$), respectivamente, de la varianza total (Figura 10 y 11). Se observa claramente que en el eje de las abscisas (factor I) el grupo formado por las comarcas de la CE y el RI se separa totalmente del PJ. Es lógica la separación en los extremos de la gráfica de las comarcas de la CE-RI y PJ, primero por estar alejadas geográficamente (con lo cual presuponemos que el intercambio de reproductores ha sido menor) y segundo, por los distintos tipos de formato de los animales, tal como había quedado reflejado en el análisis de varianza para el efecto comarca. Al analizar la gráfica, no podemos observar una clara separación entre el conglomerado de individuos para cada subpoblación (comarcas). Al realizar el análisis para el eje de las ordenadas (factor II) ya se observa una clara separación entre la CE y el RI.

Las comarcas PS, VA, AU y AR no presentan una tendencia a formar grupos aislados. Debemos hacer hincapié en que se está realizando un estudio con individuos pertenecientes a una misma raza. Es lógico encontrar que muchos de ellos son muy

similares en forma, por lo tanto, ninguna población comarcal tiene una separación significativa del resto. Se esperaba que la comarca de la CE estuviese separada del resto de individuos de las otras comarcas, pero al parecer no son tan diferentes morfológicamente.

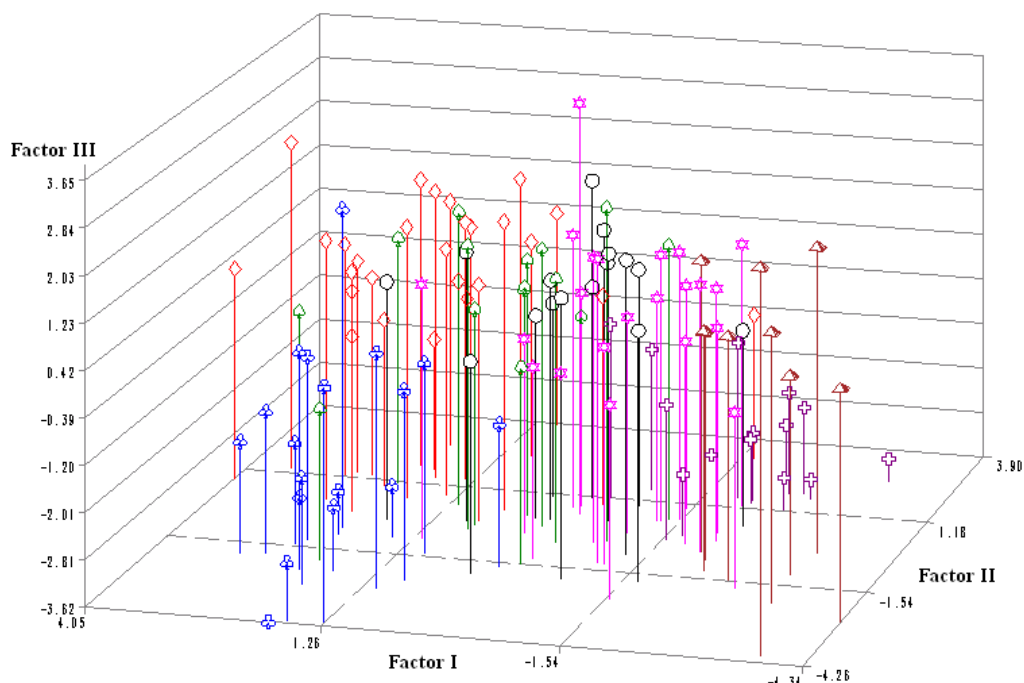


Figura 10. Gráfica del análisis canónico para las 128 hembras de CPC. Los factores I, II y III de los componentes principales explican el 41%, el 25% y 17%, respectivamente. CE: Diamante rojo, RI: Trébol azul, PS: Pica verde, PJ: Pirámide marrón, AR: Estrella magenta, AU: Cruz púrpura y VA: Círculo negro.

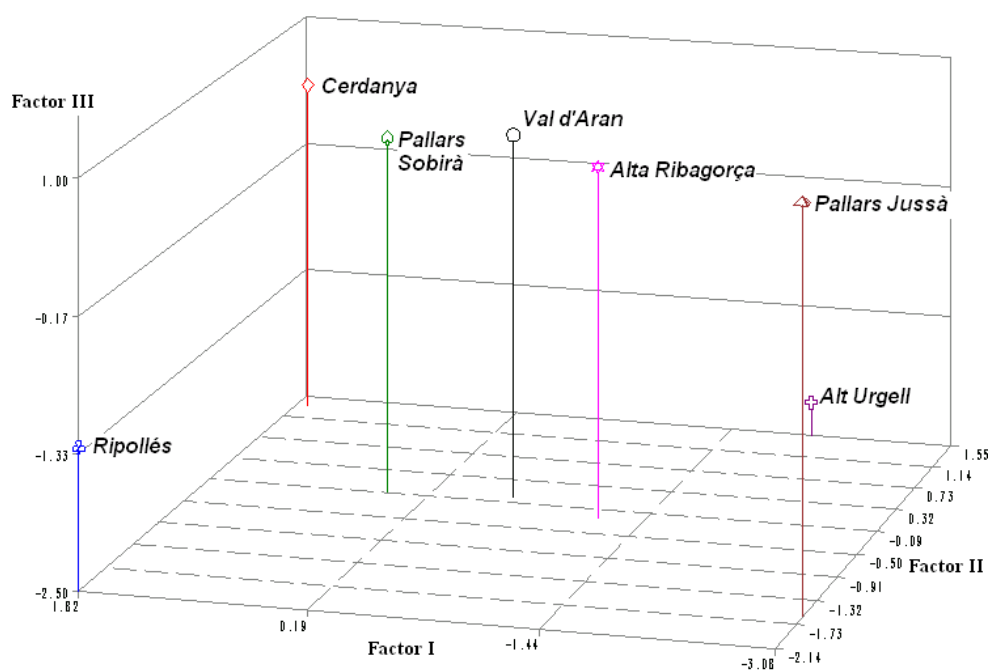


Figura 11. Gráfica del análisis canónico para las hembras de CPC de las 7 comarcas.

4.2.2.5. Análisis de la distancia de Mahalanobis

Se calculó la distancia de Mahalanobis a partir de los valores métricos de los caracteres morfológicos, con la finalidad de conocer las relaciones existentes entre las distintas comarcas del CPC (Tabla 11). Adicionalmente, y para una mejor visualización gráfica de los resultados, se construyó un dendrograma de relaciones entre comarcas utilizando el algoritmo UPGMA (Figura 12).

Tabla 11. Valores de la distancia de Mahalanobis entre comarcas, para la subpoblación de hembras del CPC (diagonal inferior). Significación estadística de dichos valores (diagonal superior)

	Val d'Aran	Alta Ribagorça	Pallars Jussà	Alt Urgell	Pallars Sobirà	Cerdanya	Ripollès
VA	0,00	n.s.	***	***	n.s.	***	***
AR	3,32	0,00	*	***	*	***	***
PJ	16,74	10,90	0,00	***	***	***	***
AU	15,29	13,04	23,87	0,00	***	***	***
PS	5,99	8,04	22,62	19,68	0,00	*	***
CE	9,78	12,32	33,52	21,97	9,15	0,00	***
RI	15,28	16,51	31,91	29,61	13,64	15,78	0,00

Significancia (*, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, n.s.: no significativo).

En el dendrograma podemos observar en un extremo la comarca del PJ, seguido por AU, siendo las comarcas más alejadas del resto. Estas relaciones son similares a las obtenidas en el análisis canónico. Las comarcas CE, RI y PS, que aportan casi el 80% de individuos al censo total, se encuentran en la parte central del árbol, posiblemente debido al gran efecto que tiene este morfotipo en la zona. También se observa una cierta correspondencia geográfica en el árbol. Las comarcas VA, AR y PS, además de ser similares según esta distancia, son limítrofes, al igual que PJ con AU, con lo que la probabilidad de intercambio de reproductores puede ser mayor.

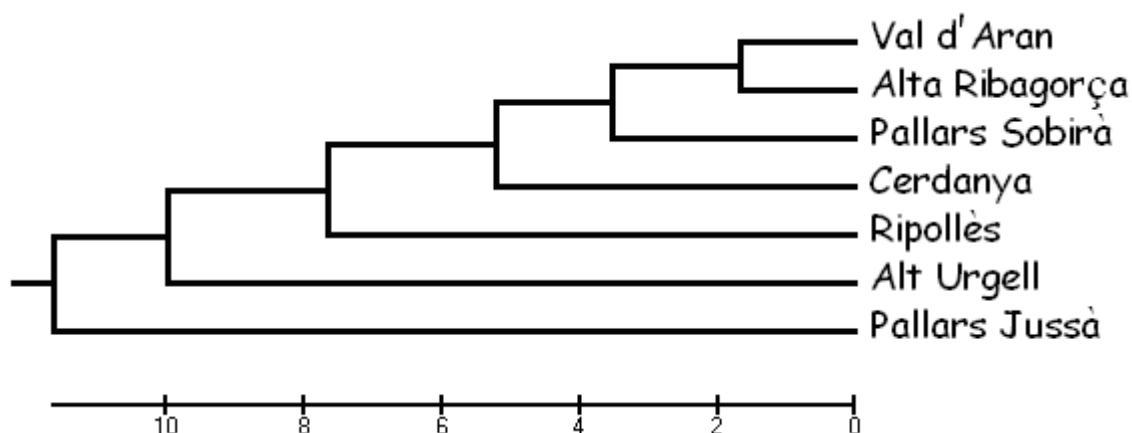


Figura 12. Dendrograma obtenido a partir de la distancia de Mahalanobis, utilizando el algoritmo UPGMA. Representa las supuestas relaciones existentes, a nivel morfológico, entre las diferentes comarcas de la subpoblación de hembras de CPC.

4.2.3. Comparación de la caracterización morfológica del CPC con respecto a otras razas equinas cárnicas españolas.

El análisis morfométrico muestra que el CPC difiere en gran medida con respecto a las demás razas cárnicas españolas (JAC, HB y BUR). Las distancias de Mahalanobis más elevadas se dan entre los sementales de CPC y el resto de machos de las otras razas (Tabla 12 y Figura 13). El análisis discriminante apoya esta separación (Figura 15). Además, el porcentaje de asignaciones correctas a sus respectivas razas es del 100% para los machos de CPC (Tabla 13).

Por otra parte, para las subpoblaciones de hembras, el análisis de la distancia de Mahalanobis muestra valores en general elevados del CPC con respecto a la JAC y al BUR, aunque no tanto como los machos, y bajos con el HB (Tabla 12 y Figura 14). En el análisis discriminante se observa, de manera similar, que algunas hembras de CPC se solapan con hembras de HB, mientras que se separan completamente del resto de razas (Figura 16). Las hembras de CPC presentan los porcentajes más elevados de asignaciones morfológicas correctas, con el 98,15%, muy por encima de las demás razas, hecho que demuestra su gran uniformidad y diferenciación respecto a las otras razas cárnicas españolas (Tabla 13).

Tabla 12. Valores de la distancia de Mahalanobis para las diferentes razas cárnicas españolas (Proyecto INIA RZ2004-00023).

	Burguete	Jaca Navarra	Hispano-Bretón	CPC
Burguete	0	20,38	9,62	22,39
Jaca Navarra	43,96	0	25,86	34,91
Hispano-Bretón	20,64	44,69	0	12,59
CPC	72,57	57,64	41,29	0

Hembras: diagonal superior; Machos: diagonal inferior.

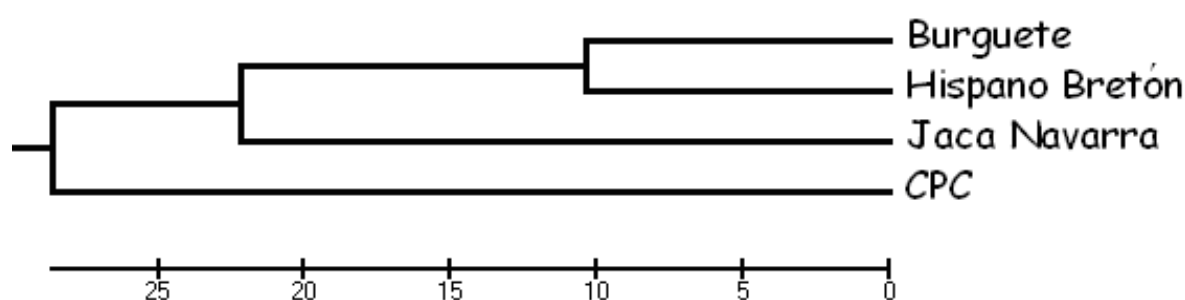


Figura 13. Dendrograma obtenido a partir de la distancia de Mahalanobis, utilizando el algoritmo UPGMA, que representa las supuestas relaciones existentes, a nivel morfológico, entre los sementales de las diferentes razas cárnicas españolas.

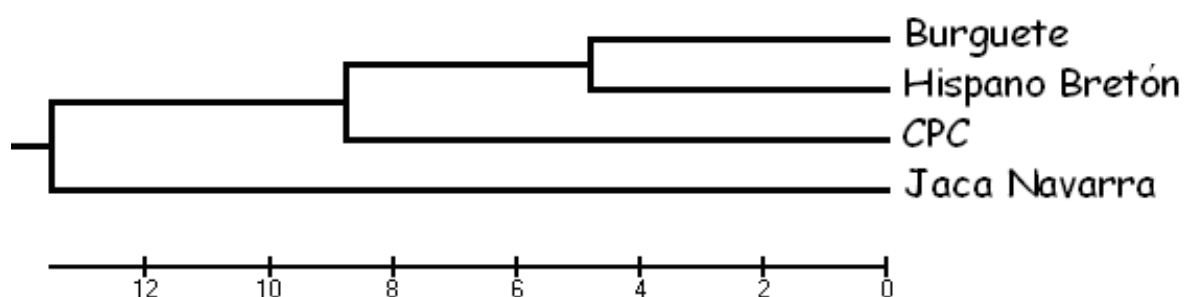


Figura 14. Dendrograma obtenido a partir de la distancia de Mahalanobis, utilizando el algoritmo UPGMA, que representa las supuestas relaciones existentes, a nivel morfológico, entre las yeguas de las diferentes razas cárnicas españolas.

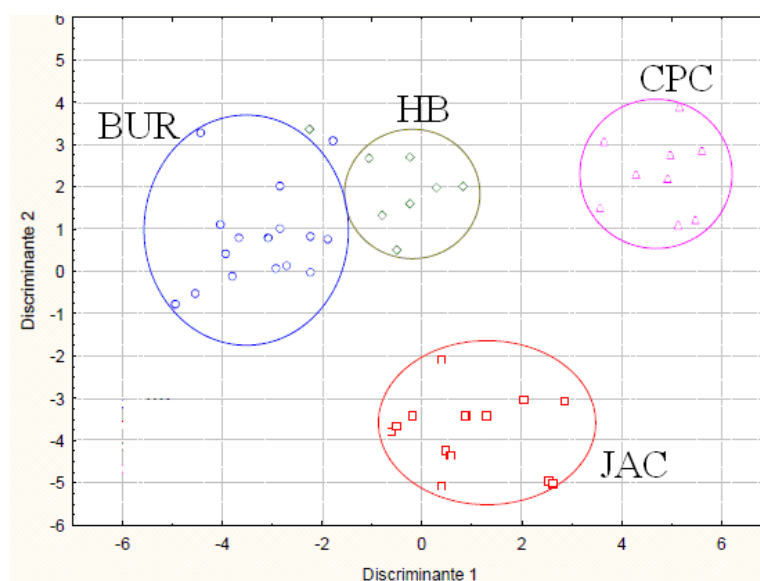


Figura 15. Análisis discriminante de los sementales para las diferentes razas cárnicas españolas (Proyecto INIA RZ2004-00023). CPC: Cavall Pirinenc Català, JAC: Jaca Navarra, BUR: Burguete, HB: Hispano-Bretón.

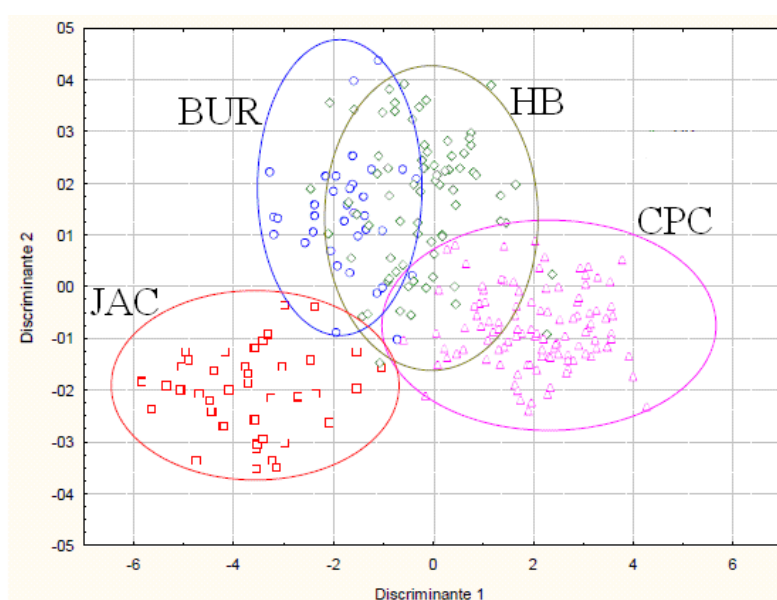


Figura 16. Análisis discriminante de las yeguas para las diferentes razas cárnicas españolas (Proyecto INIA RZ2004-00023). CPC: Cavall Pirinenc Català, JAC: Jaca Navarra, BUR: Burguete, HB: Hispano-Bretón.

Tabla 13. Porcentaje de asignación correcta a raza, para yeguas y machos de las diferentes razas cárnicas españolas (Proyecto INIA RZ2004-00023).

	Yeguas	Machos
Burguete	88,57	100
Jaca Navarra	97,50	100
Hispano-Bretón	90,54	100
Cavall Pirinenc Català	98,15	100
Total	94,55	100

Con respecto a los índices zoométricos, y haciendo especial énfasis en los de productividad (Tabla 14), se observa que el CPC presenta el valor más alto para el IPL, debido a que la relación de la longitud de la grupa con respecto a la alzada a la cruz es mayor en esta población (la longitud de la grupa es la mayor entre razas), lo que demuestra una mejor conformación de aptitud cárnica frente a las demás razas. Por otro lado, el CPC presenta las grupas más proporcionadas (horizontales) frente a las demás razas cárnicas. La Jaca Navarra y el Hispano-Bretón presentan grupas con una mayor tendencia a ser concavilíneas (predominando la anchura sobre la longitud). El índice IPT, en concordancia con los anteriores valores, muestra que, en el CPC, la anchura de la grupa no está tan desarrollada con respecto a la alzada a la cruz como en razas como el Burguete o el Hispano-Bretón. Lo mismo ocurre con el IPRT, que muestra un desarrollo más amplio en el diámetro dorso-esternal con respecto a la alzada a la cruz para las mismas razas que para el IPT. El CPC tiene el menor índice IDT, indicando un menor perímetro torácico con respecto al perímetro de la caña, siendo los caballos menos hipermétricos entre las razas cárnicas. Los índices muestran una buena conformación cárnica, presentando todas las razas un gran desarrollo óseo (aunque haya pequeñas fluctuaciones interraciales).

Tabla 14. Valores obtenidos de los índices zoométricos para las diferentes razas cárnicas españolas (Proyecto INIA RZ2004-00023).

Índice	CPC	Hispano-Bretón	Jaca Navarra	Burguete
IPV	98,04	110,49	112,66	112,86
IPL	38,51	37,18	36,86	33,29
IPT	37,73	41,01	37,09	41,42
IPRT	46	48	45	48
IDC	76,19	75,09	83,46	78,83
IDT	11,49	12,09	12,65	12,02
IT	73,61	79,4	69,32	81,61
IP	89	92	95	91
IC	84,4	80,78	84,49	81,12

4.3. CARACTERIZACIÓN GENÉTICA DEL CAVALL PIRINENC CATALÀ

Los principales parámetros genéticos (número de alelos, número medio de alelos, riqueza alélica, heterocigosis observada y esperada, $f \approx F_{IS}$, coancestralidad y auto-coancestralidad) para el conjunto de la raza y por comarcas se presentan en las Tablas 15 y 16:

Tabla 15. Parámetros de diversidad genética de la raza CPC.

<i>Locus</i>	Rango alélico (pb)	NA	H _O	H _E	$F \approx F_{IT}$	PIC
<i>AHT4</i>	144-164	9	0,781	0,796	0,020 n.s.	0,767
<i>AHT5</i>	128-140	7	0,842	0,829	-0,013 n.s.	0,806
<i>ASB17</i>	95-123	15	0,833	0,880	0,057 *, n.s. ^a	0,869
<i>ASB2</i>	236-252	7	0,735	0,751	0,023 n.s.	0,721
<i>ASB23</i>	184-214	11	0,754	0,793	0,052 n.s.	0,762
<i>CA425</i>	227-243	7	0,724	0,687	-0,052 n.s.	0,653
<i>HMS1</i>	174-190	7	0,565	0,637	0,115 **, n.s. ^a	0,579
<i>HMS2</i>	218-238	10	0,698	0,746	0,067 *, n.s. ^a	0,710
<i>HMS3</i>	148-166	7	0,609	0,722	0,158 ***, ** ^a	0,685
<i>HMS6</i>	158-170	7	0,701	0,731	0,044 n.s.	0,688
<i>HMS7</i>	167-183	9	0,701	0,769	0,091 **, n.s. ^a	0,735
<i>HTG4</i>	126-136	6	0,684	0,684	0,003 n.s.	0,628
<i>HTG6</i>	78-100	6	0,252	0,269	0,064 n.s.	0,258
<i>HTG7</i>	119-129	6	0,637	0,714	0,110 **, n.s. ^a	0,666
<i>HTG10</i>	88-110	11	0,707	0,734	0,039 n.s.	0,698
<i>VHL20</i>	85-103	10	0,893	0,838	-0,064 n.s.	0,818
Total		135	0,695	0,725	0,042 ***	

NA: número de alelos; H_O heterocigosis observada; H_E: heterocigosis esperada; $F \approx F_{IT}$ (-) exceso o (+) déficit de heterocigotos; PIC: índice de polimorfismo; f : (-) exceso o (+) déficit de heterocigotos; *: p<0,05, **: p<0,01; ***: p<0,001; n.s.: no significativo, ^a significancia después de aplicar la corrección de Bonferroni.

Tabla 16. Parámetros de diversidad genética para cada comarca y para el conjunto de la raza CPC.

Com.	N	NA	NMA	RA	H _O	(SD)	H _E	(SD)	$f \approx F_{IS}$	f_{ii}	s_i
VA	34	102	6,4	5,8	0,681	(0,175)	0,725	(0,138)	0,062 **, * ^a	0,2858	0,6596
AR	25	101	6,3	5,8	0,702	(0,137)	0,727	(0,102)	0,035 n.s.	0,2875	0,6480
PJ	16	91	5,7	5,6	0,726	(0,191)	0,728	(0,114)	0,003 n.s.	0,2958	0,6378
AU	18	102	6,4	6,1	0,718	(0,176)	0,718	(0,153)	-0,001 n.s.	0,3025	0,6411
PS	41	118	7,4	6,2	0,695	(0,154)	0,731	(0,119)	0,050 **, n.s. ^a	0,2793	0,6522
CE	39	111	6,9	5,8	0,708	(0,171)	0,714	(0,161)	0,009 n.s.	0,2949	0,6461
RI	42	102	6,4	5,6	0,666	(0,197)	0,700	(0,184)	0,049 *, n.s. ^a	0,3084	0,6667
Raza	215	135	8,4	6,0	0,695	(0,145)	0,725	(0,137)	0,034 ***	0,2934	0,6502

N: tamaño muestral; NA: número de alelos; NMA: número medio de alelos por *locus*; RA: riqueza alélica (tamaño muestral para 15 individuos); H_O: heterocigosis observada; (SD): desviación estándar; H_E: heterocigosis esperada; $f \approx F_{IS}$: (-) exceso o (+) déficit de heterocigotos; *: p<0,05, **: p<0,01; ***: p<0,001; n.s.: no significativo, ^a significancia después de aplicar la corrección de Bonferroni; f_{ii} : coancestralidad; s_i : auto-coancestralidad.

4.3.1. Estimación de parámetros indicativos de la variabilidad genética dentro de la raza

Cálculo de las frecuencias alélicas

La mayoría de los *loci* mostraron un comportamiento unimodal en sus frecuencias alélicas, a excepción de los microsatélites *AHT4*, *AHT5*, *HMS6*, *ASB23*, *HMS1* y *ASB17* (este último es el único *locus* con más de dos modas) (Anexo 5). Esta distribución de frecuencias es similar a la observada en otras razas equinas ibéricas, como el Asturcón, la Jaca Navarra, el Losino, el Caballo Pura Raza Gallega, el Pottoka, el Menorquín y el Mallorquín (Checa 2004).

Número medio de alelos por *locus* (NMA)

Todos los *loci* fueron polimórficos dentro de comarcas y para el conjunto de la raza. El número total de alelos detectados para los 16 *loci* fue de 135, con un número de alelos promedio de 8,4. Los *loci* *HTG6*, *HTG4* y *HTG7* presentaron el menor número de alelos (6) y *ASB17* el mayor (15). El *locus* *HTG7* también presentó el menor número de alelos en el caballo Pottoka (Rendo 2010) y en el caballo italo-austriaco Haflinger (Maretto & Mantovani 2009), mientras que el *locus* *ASB17* mostró el mayor número de alelos en el caballo Pottoka (Rendo 2010). El número medio de alelos del CPC fue similar al de otras razas cárnica equinas españolas como el Hispano-Bretón (8,4), la Jaca Navarra (8,0) y el Burguete (8,1) (Azor *et al.* 2007).

La comarca con el mayor número medio de alelos fue PS (7,38), y la comarca del PJ fue la que presentó el menor valor (5,69). No obstante, esta diferencia puede deberse en parte un efecto de muestreo, pues también son las comarcas en las que se muestreó el mayor y menor número de individuos, respectivamente (Tabla 16).

Riqueza alélica (RA)

La riqueza alélica, para un tamaño muestral estandarizado de 15 individuos, tiene una cierta correspondencia con el número medio de alelos por *locus* (NMA) por comarcas. Así, Pallars Sobirà continúa siendo la comarca que presentó la mayor riqueza alélica (6,2), de forma similar al número medio de alelos. Pallars Jussà mostró el menor valor para ambos parámetros. No obstante, al corregir por el tamaño muestral (15 individuos), la riqueza alélica de Pallars Jussà (5,6) fue de orden similar a la observada en la comarca del Ripollès (5,6). Este parámetro nos indica que Pallars Sobirà presenta el

mayor reservorio de alelos entre las comarcas, y que Ripollès y Pallars Jussà deberían intentar mantener sus alelos a frecuencias equilibradas, con un programa de apareamientos, para no perder más diversidad alélica en un futuro.

Alelos privados

Se encontró un total de 15 alelos privados entre las comarcas, siendo el marcador *ASB23* el que presentó el mayor número de ellos (4). Por comarcas, fue Pallars Sobirà la que generó el mayor número de alelos privados (5), en contraposición a la Alta Ribagorça que no presentó ninguno (Anexo 6). Es posible que estos alelos puedan provenir de razas externas al CPC, aunque también podría ser un efecto debido al muestreo, pues son alelos con muy bajas frecuencias detectados en subpoblaciones de reducido tamaño muestral.

PIC (Índice de polimorfismo)

Con respecto al índice de polimorfismo (PIC) se observa que para el CPC todos los *loci* fueron muy informativos ($PIC > 0,60$), excepto el *locus HTG6* cuyo valor ($PIC = 0,26$) fue sustancialmente menor al resto de marcadores. Los *loci* más informativos fueron *ASB17*, *VHL20* y *AHT5* con valores de 0,87, 0,82 y 0,81, respectivamente. Por comarcas (datos no mostrados), el valor más bajo fue para Ripollès con el *locus HTG6* (0,07), y esta misma comarca presentó el valor más alto para el PIC, con el *locus ASB17* (0,87), valor similar para Pallars Sobirà con este mismo *locus*.

Heterocigosis esperada (H_E)

La heterocigosis esperada para el conjunto de la raza Cavall Pirinenc Català fue de 0,725. Este resultado muestra una elevada diversidad genética y por ende un buen estado de la raza en cuanto a variabilidad. El CPC debe, entre otros factores, su alta diversidad a la frecuente importación de sementales foráneos, principalmente de las razas Bretona y Comtois, traídos con la finalidad de mejorar y afianzar caracteres, hecho común en varias razas españolas, como por ejemplo el Hispano-Bretón (Pérez-Gutiérrez *et al.* 2008). Los valores de diversidad genética del CPC fueron comparables a los obtenidos en otras razas equinas cárnica españolas como la Jaca Navarra (H_E : 0,728 a 0,783) (Cañón *et al.* 2000; Solis *et al.* 2005; Marletta *et al.* 2006, Valera *et al.* 2008), el Hispano-Bretón (H_E : 0,743 a 0,752) (Pérez-Gutiérrez *et al.* 2008; Valera *et al.* 2008) y el Burguete (H_E : 0,760) (Valera *et al.* 2008), así como a los obtenidos en razas

pesadas europeas, tales como el Percherón (H_E : 0,680 a 0,700) y el Bretón (H_E : 0,670 a 0,710) (Kakoi *et al.* 2007, Leroy *et al.* 2009), el Comtois (H_E : 0,690) y el Ardennais (H_E : 0,640) (Leroy *et al.* 2009) o el Belga (H_E : 0,750) (Plante *et al.* 2007). Entre las subpoblaciones del CPC la diversidad genética osciló desde 0,700 (Ripollès) hasta 0,731 (Pallars Sobirà).

Cálculo de los estadísticos F de Wright

La Tabla 17 presenta los valores para los índices de fijación F de Wright (1969) obtenidos con los estimadores F , θ y f de Weir y Cockerham (1984). El CPC presentó un leve déficit de heterocigotos a nivel de subpoblaciones (F_{IS} : 0,034), siendo éste altamente significativo ($p < 0,001$). Este déficit medio de heterocigotos es consecuencia de los relativamente elevados valores de F_{IS} observados en cuatro de las siete comarcas: Val d'Aran (F_{IS} : 0,062; $p < 0,01$), Pallars Sobirà (F_{IS} : 0,050; $p < 0,01$), Ripollès (F_{IS} : 0,049; $p < 0,05$) y Alta Ribagorça (F_{IS} : 0,035; n.s.), tal como se puede apreciar en la Tabla 16. No obstante, al realizar las correspondientes correcciones de significación con el método de Bonferroni, tan sólo la comarca de la Val d'Aran continuó manifestando, de forma significativa, dicha desviación ($p < 0,05$). Este déficit, del 6,2% de heterocigotos, se debe básicamente a los marcadores *HMS3* y *HTG7*, ambos muy significativos ($p < 0,01$) antes de la corrección de Bonferroni (Anexo 7). Para el *locus* *HMS3* se podría atribuir dicho déficit a la posible presencia de alelos nulos o a que el *locus* en cuestión estuviera bajo selección (efecto de arrastre o *genetic hitchhiking effect*), ligado a algún carácter morfológico o productivo de interés selectivo (Nei 1987), pues son varias las comarcas que presentan valores elevados de déficit para este mismo *locus* (F_{IS} : 0,293, $p < 0,01$ para VA; F_{IS} : 0,280, $p < 0,05$ para AR; F_{IS} : 0,179, $p < 0,05$ para PS y F_{IS} : 0,128, n.s. para AU). Rendo (2010) reportó y confirmó la presencia de alelos nulos para los marcadores *HMS3*, *ASB23* y *HTG10* en la raza Pottoka y otros ponis ibéricos (incluida la Jaca Navarra), desaconsejando su uso, al menos para las razas reportadas. Por el contrario, la explicación más plausible para el elevado déficit observado en el *locus* *HTG7* (únicamente significativo para la comarca de la Val d'Aran), sería la posible subestructuración reproductiva de las explotaciones muestreadas en esta comarca.

Cuando analizamos la raza en su conjunto, como población única CPC, observamos un déficit altamente significativo de heterocigotos (F_{IT} = 0,042; $p < 0,001$). Dicho déficit, y

después de realizar la corrección de Bonferroni (Tabla 15), fue debido, básicamente, al marcador *HMS3* ($F_{IT} = 0,158$; $p < 0,01$). La misma argumentación, dada anteriormente para este *locus* en la comarca de la Val d'Aran, podría argüirse aquí: presencia de alelos nulos o *locus* bajo selección. Por tanto, el déficit del 4,2% de heterocigotos detectado en la población equina CPC, no puede ser atribuido a la consanguinidad, así como tampoco, a una marcada subestructuración reproductiva entre comarcas (efecto Wahlund), tal como se comentará posteriormente, con lo cual nos encontramos ante una población genéticamente muy uniforme.

Marletta *et al.* (2006) reportan un valor promedio de F_{IT} para el marcador *HMS3* de 0,142 (aunque no se muestran los valores de significación) para un total de 11 razas equinas autóctonas del Mediterráneo occidental (8 españolas y 3 italianas), siendo con diferencia el valor más elevado de los 12 *loci* estudiados (todos los *loci* tuvieron valores inferiores a 0,061 para las F_{IT}). Los elevados y significativos valores de déficit de heterocigotos para el *locus* *HMS3*, reportados por Marletta *et al.* (2006), Rendo (2010) y los obtenidos en la presente tesis, para diferentes razas de caballos, podrían ser argumento suficiente para proponer una revisión exhaustiva de este marcador por parte de la ISAG (*International Society for Animal Genetics*); evaluar si realmente está afectado por la presencia de alelos nulos en diferentes razas equinas y confirmarlo o suprimirlo de la lista de microsatélites recomendados.

De forma comparativa, el valor de 4,2% de déficit de heterocigotos detectado en el Cavall Pirinenc Català, es muy similar al obtenido por diferentes autores en otras razas cárnicas españolas y europeas: Cañón *et al.* (2000) detectaron un 3,4% de déficit en la Jaca Navarra, y Marletta *et al.* (2006) un 3,5% en la misma raza. Pérez-Gutiérrez *et al.* (2008) obtuvieron un valor del 8,5% de déficit en el Hispano-Bretón. Con respecto a algunas razas pesadas europeas, destacar el 3% de déficit mostrado por la raza Ardennais y la Comtois (Leroy *et al.* 2009) y el 6,5% observado en la raza Belga (Plante *et al.* 2007). Sin embargo, otras razas mostraron exceso de heterocigotos, como por ejemplo las razas Percherona ($F_{IT} = -0,010$; Leroy *et al.* 2009) y Bretona ($F_{IT} = -0,010$ a $-0,035$; Kakoi *et al.* 2007, Leroy *et al.* 2009, respectivamente).

Según el estadístico F_{ST} , la población CPC apenas presentó subestructuración genética, pudiendo considerarse por tanto como una población muy homogénea y uniforme. El

análisis molecular de la varianza (AMOVA) mostró que el promedio de diferenciación genética entre comarcas (Tabla 17) fue tan sólo del 1% (no significativo). En otras palabras, del total de diferenciación genética existente, el efecto comarca explica tan sólo un 1% de dicha diferenciación, correspondiendo el 99% restante a diferencias entre los individuos.

Tabla 17. F -estadísticos de Wright (1969) según los estimadores f , F y θ de Weir & Cockerham (1984) para el CPC.

	$f \approx F_{IS}$	$\theta \approx F_{ST}$	$F \approx F_{IT}$
Weir & Cockerham	0,034	0,010	0,042
Intervalos de confianza al 95%	0,006-0,062	0,005-0,015	0,015-0,073
Intervalo de confianza mediante “bootstrapping” sobre los <i>loci</i>			

En la Tabla 18 se muestran los valores de diferenciación genética (F_{ST}) entre las distintas comarcas, dos a dos. El valor más bajo de F_{ST} se dio entre la Alta Ribagorça y el Pallars Sobirà ($F_{ST} \approx 0$), y el más elevado entre el Pallars Jussà y el Ripollès ($F_{ST} = 0,0245$), siendo éste altamente significativo. Las comarcas presentaron una cierta correspondencia entre los valores de F_{ST} y la distribución geográfica. Los valores más bajos se correspondieron a comarcas colindantes (Alta Ribagorça y Pallars Sobirà) y los más altos a comarcas geográficamente más distantes (Pallars Jussà y Ripollès).

Tabla 18. Valores para el estadístico θ ($\approx F_{ST}$) entre las subpoblaciones (comarcas) del CPC.

	Val d'Aran	Alta Ribagorça	Pallars Jussà	Alt Urgell	Pallars Sobirà	Cerdanya	Ripollès
VA	-	n.s.	*	*	*	**	*
AR	0,0046	-	**	*	n.s.	**	n.s.
PJ	0,0199	0,0167	-	n.s.	**	**	***
AU	0,0118	0,0129	0,0120	-	***	n.s.	*
PS	0,0073	0,0002	0,0190	0,0200	-	**	*
CE	0,0093	0,0129	0,0174	0,0069	0,0079	-	***
RI	0,0068	0,0026	0,0245	0,0119	0,0057	0,0116	-

*, $P < 0,05$; **, $P < 0,01$; *** $P < 0,001$; n.s.: no significativo. Probabilidades calculadas con 10000 permutaciones.

Coascendencia (f_{ii}) y auto-coancestralidad (s_i)

La coancestralidad o coascendencia molecular media para el Cavall Pirinenc Català fue de 0,293, valor cercano al reportado para la raza cárnica Jaca Navarra (f_{ii} : 0,275) (Marletta *et al.* 2006). Con respecto a otras razas españolas (Asturcón, Caballo Gallego, Pottoka, Menorquín, Mallorquín y Losino) el CPC se encuentra dentro del rango reportado (f_{ii} : 0,233 a 0,302) (Marletta *et al.* 2006). El valor para la auto-coancestralidad en el CPC fue de 0,650, valor ligeramente más elevado que el referenciado para las distintas razas equinas españolas, incluida la Jaca Navarra, (s_i : 0,625 a 0,648). Vale la pena aclarar que éstos son resultados generados únicamente con datos moleculares y, por tanto, se hace imposible conocer si los dos alelos son idénticos por descendencia, reportando tan sólo la identidad por estado. Esta limitación puede generar un sesgo en los valores de las coascendencias al no incorporar datos genealógicos, pero éstos, desafortunadamente, no están disponibles. Entre las subpoblaciones del CPC los resultados no presentaron gran variación; ni para los valores de coascendencia (desde f_{ii} : 0,280 para Pallars Sobirà, hasta f_{ii} : 0,308 para Ripollès) ni para los valores de auto-coancestralidad (desde s_i : 0,6378 para Pallars Jussà hasta s_i : 0,6667 para el Ripollès), lo cual viene a demostrar la elevada similitud genética que existe entre las comarcas.

Contribución de cada comarca a la diversidad total (GD_T)

En la Tabla 19 se ha desglosado la aportación de cada subpoblación (dentro de las subpoblaciones y entre subpoblaciones) a la diversidad genética global, además de presentar la contribución individual de los animales (entre y dentro de los individuos), para el Cavall Pirinenc Català. Cada comarca aportó aproximadamente un 14% a la diversidad genética total (GD_T) (porcentaje que osciló del 13,94% de RI al 14,52% de PS). Por otro lado, debemos destacar la gran diferencia observada entre la diversidad genética dentro de las subpoblaciones (GD_{ws}: 0,7066) y entre las subpoblaciones (GD_{BS}: 0,0193), reflejando con ello la gran uniformidad genética existente entre las comarcas. Tan sólo el 2,65% de la variación fue explicada por las diferencias entre subpoblaciones (GD_{BS}); este porcentaje es la proporción con respecto a la diversidad genética total de la raza (GD_{BS}*100/GD_T). El valor es muy similar al obtenido con el estadístico F_{ST} según la metodología propuesta por Nei (1973): 0,026 (2,6%) (datos no mostrados).

Tabla 19. Contribución de cada subpoblación (comarcas) a la diversidad total (GD_T).

Comarca	(GD_{WI})	(GD_{BI})	(GD_{WS})	(GD_{BS})	(GD_T)
Val d'Aran	0,0486	0,0534	0,1020	0,0025	0,1045
Alta Ribagorça	0,0503	0,0515	0,1018	0,0025	0,1043
Pallars Jussà	0,0517	0,0489	0,1006	0,0039	0,1045
Alt Urgell	0,0513	0,0484	0,0996	0,0032	0,1028
Pallars Sobirà	0,0497	0,0533	0,1030	0,0024	0,1054
Cerdanya	0,0506	0,0502	0,1007	0,0024	0,1031
Ripollès	0,0476	0,0512	0,0988	0,0024	0,1012
Toda la raza	0,3498	0,3568	0,7066	0,0193	0,7259

GD_{WI} : diversidad genética dentro de los individuos; GD_{BI} : diversidad genética entre los individuos; GD_{WS} : diversidad genética dentro de las subpoblaciones; GD_{BS} : diversidad genética entre las subpoblaciones; GD_T : diversidad genética total.

Diversidad genética total al remover una subpoblación i ($GD_{T|i}$)

Según el parámetro $GD_{T|i}$, propuesto por Caballero & Toro (2002), el CPC no perdió ni ganó, de manera significativa, diversidad genética total al remover una subpoblación. Por lo tanto, inferimos que la raza presenta una diversidad genética muy bien repartida entre las comarcas (Tabla 20). Al realizar un análisis comarcal más detallado y exhaustivo observamos que, al remover la comarca del Pallars Jussà, la diversidad genética sufre la mayor pérdida para la raza (-0,4%). Esto fue debido a que, entre comarcas, Pallars Jussà generó más elevadas frecuencias génicas para alelos no muy bien representados en las demás subpoblaciones, lo que se refleja en la pérdida del 0,5% de la diversidad entre subpoblaciones, la mayor pérdida dada por comarcas. La siguiente comarca que, en el caso de desaparecer, provocaría una mayor pérdida de diversidad, sería Pallars Sobirà. Dicha pérdida se basa en el hecho de presentar una mayor diversidad genética entre los individuos de su subpoblación. Por otro lado, la mayor ganancia de diversidad (+0,4%) para el conjunto de la raza, aunque siempre dentro de unos valores muy ínfimos, se produciría al retirar la subpoblación del Ripollès, comarca que presentó los menores valores de heterocigosis.

Tabla 20. Diversidad genética total al remover la subpoblación i ($GD_{T|i}$) y pérdida (-) o ganancia (+) de diversidad al remover cada subpoblación (en %).

Subpoblación removida	$GD_{T i}$	Dentro de subpoblaciones		Entre subpoblaciones	Diversidad Genética Total
		Dentro de individuos	Entre individuos		
Val d'Aran	0,7247	0,2	-0,4	0	-0,2
Alta Ribagorça	0,7249	-0,1	-0,1	0	-0,1
Pallars Jussà	0,7226	-0,3	0,3	-0,5	-0,4
Alt Urgell	0,7257	-0,2	0,4	-0,2	0
Pallars Sobirà	0,7238	0	-0,4	0,1	-0,3
Cerdanya	0,7264	-0,1	0,1	0,1	0,1
Ripollès	0,7287	0,4	0	0,1	0,4

Contribución de cada subpoblación a un único acervo genético

El análisis del parámetro GD_{POOL} que, teóricamente, seleccionaría la mejor contribución de individuos de cada subpoblación para crear un nuevo acervo genético que maximizara la diversidad genética total de la raza, mostró que entre las subpoblaciones hubo una proporción no equitativa de individuos seleccionados (Tabla 21). Esto se debe a las distintas varianzas sobre la media de la H_E generada por cada comarca. Entre éstas, Pallars Sobirà fue la comarca que más individuos aportaría para maximizar la diversidad genética total, con un 38,5% de los mismos, seguido por las comarcas del Pallars Jussà y Val d'Aran, con el 27,1% y el 19,2%, respectivamente. Por el contrario, las comarcas de CE y RI no aportarían individuos a este nuevo acervo, debido a que su variabilidad genética ya estaría representada por los individuos de las otras comarcas. El nuevo acervo genético de la raza tendría una diversidad genética total (GD_{POOL}) de 0,732, a diferencia del 0,725 esperado en la población actual (Tabla 16). La ganancia sería de aproximadamente un uno por ciento de diversidad (0,8%); un valor muy bajo, pero que es el resultado de ser una población tan uniforme genéticamente. Si la diferenciación entre comarcas hubiese sido mayor, seguramente la ganancia de diversidad, del nuevo y teórico acervo genético, también hubiese incrementado.

Tabla 21. Contribución de cada subpoblación (comarca) en % a un acervo único con la máxima diversidad genética (GD_{pool}).

Subpoblación	Contribución
Val d'Aran	19,2
Alta Ribagorça	7,5
Pallars Jussà	27,1
Alt Urgell	7,7
Pallars Sobirà	38,5
Cerdanya	0
Ripollès	0
GD_{pool}	0,732

4.3.2. Relaciones genéticas del CPC con otras razas equinas de tipo pesado

4.3.2.1. Asignación de individuos a *clusters* (poblaciones)

Los valores del Ln P(D) mostraron que el valor promedio más probable de K (poblaciones ancestrales) fue de K = 2 (Anexo 8). Sin embargo, este valor de K = 2 no separó ninguna de las tres razas entre sí, como, lógicamente, tampoco las dos francesas (Bretón y Comtois). Este resultado, obtenido en el presente trabajo, se ve apoyado por el obtenido en un extenso análisis realizado con 34 razas establecidas en Francia, entre ellas el Comtois y el Bretón, donde se observó que estas dos mismas razas no se separaban entre sí para ninguna K analizada (Leroy *et al.* 2009). Con estos resultados asumimos que las tres razas, Cavall Pirinenc Català, Bretón y Comtois, son genéticamente muy similares. Al calcular las frecuencias porcentuales más probables de cada individuo para cada *cluster* (Figura 17), se observa que las razas Bretón y Comtois no forman *cluster* separados, y ni tan siquiera se separan del resto de subpoblaciones de Cavall Pirinenc Català. Estos resultados, obtenidos con el programa STRUCTURE (Pritchard *et al.* 2000), nos indican un elevado grado de uniformidad del genoma entre estas tres razas. Este hecho no es sorprendente pues, históricamente, las razas Bretona y Comtois han tenido una gran importancia tanto en la formación como en la mejora del Cavall Pirinenc Català. Tal como se observa en el gráfico, las frecuencias globales de la comarca de la Cerdanya mostraron la mayor similitud con las del Bretón, probablemente debido a que esta comarca ha recibido una mayor influencia, en el tiempo y espacio, por parte de la raza Bretona.

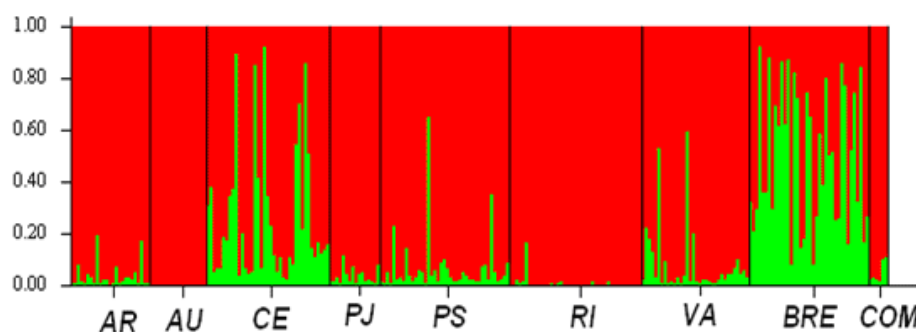


Figura 17. Representación gráfica de la asignación de individuos con una K de 2.

4.3.2.2. Estima de las distancias genéticas entre las subpoblaciones del CPC y algunas razas pesadas francesas

En la Tabla 22 se presentan los valores para las distancias genéticas D_R de Reynolds *et al.* (1983) y D_A de Nei *et al.* (1983). Los menores valores para la distancia D_R de Reynolds se dieron entre la comarca de la Alta Ribagorça y las comarcas del Pallars Sobirà, Ripollès y Val d'Aran. Esta mayor relación entre estas comarcas también fue apoyada por la distancia D_A de Nei. La estrecha relación existente entre las comarcas de la Alta Ribagorça y la Val d'Aran podría explicarse en el encuentro de rebaños que se da en las montañas cercanas al pueblo de Bossost (Val d'Aran) donde, según la encuesta realizada, los ganaderos de estas dos comarcas suelen llevar allí sus rebaños en época estival. La relación existente entre la Alta Ribagorça y el Ripollès es de más difícil explicación, pues son comarcas geográficamente muy alejadas, y entre las que no hay constancia del encuentro de rebaños. Una posible hipótesis, para esta supuesta relación, pudiera ser el mayor intercambio reproductivo (compra/venta) que se hubiera podido dar entre estas comarcas. Tanto con la distancia D_R como D_A se observa que, Pallars Jussà es la subpoblación que mantiene un mayor aislamiento genético con el resto de comarcas, de forma similar a lo obtenido con el análisis de los datos morfológicos. El mayor distanciamiento que muestra Pallars Jussà en general, puede deberse a la baja comercialización (compra/venta) que se da en esa zona geográfica, con lo que la incorporación de nueva diversidad sería muy baja, generando por tanto un mayor aislamiento genético. Al revisar los valores de las comarcas con respecto a las razas Bretona y Comtois se observó que el Bretón es la raza más próxima al conjunto de comarcas del CPC, tanto para los valores de la distancia D_R como para la distancia D_A . Particularizando las comarcas, el Bretón se aproximó más a la de Cerdanya, hecho perfectamente explicado debido a la gran influencia histórica de esta raza en la comarca. El Comtois, que es la raza más alejada del resto de subpoblaciones en comparación al

Bretón, mostró una mayor relación con las comarcas Alta Ribagorça, Cerdanya y Pallars Sobirà.

Tabla 22. Valores de las distancias genéticas D_R (Reynolds *et al.* 1983) y D_A (Nei *et al.* 1983). Distancia D_R (arriba de la diagonal) y distancia D_A (debajo de la diagonal).

Subp.	Val d'Aran	Alta Ribagorça	Pallars Jussà	Alt Urgell	Pallars Sobirà	Cerdanya	Ripollès	Bretón	Comtois
VA	---	0,005	0,023	0,012	0,008	0,009	0,008	0,022	0,036
AR	0,044	---	0,018	0,012	0,002	0,012	0,003	0,013	0,017
PJ	0,080	0,081	---	0,012	0,021	0,018	0,028	0,033	0,037
AU	0,054	0,059	0,072	---	0,020	0,007	0,013	0,024	0,032
PS	0,052	0,048	0,078	0,067	---	0,007	0,007	0,011	0,020
CE	0,039	0,046	0,068	0,047	0,039	---	0,012	0,010	0,022
RI	0,049	0,045	0,074	0,056	0,044	0,048	---	0,017	0,029
BRE	0,057	0,052	0,085	0,065	0,050	0,036	0,048	---	0,022
COM	0,159	0,144	0,160	0,167	0,145	0,137	0,147	0,141	---

4.3.2.3. Relaciones genéticas entre el CPC y algunas razas pesadas francesas

Los árboles generados mediante el algoritmo *neighbour-joining*, con las distancias genéticas D_R de Reynolds y D_A de Nei, se muestran en las Figuras 18 y 19. En los dos dendrogramas, los valores de distancia (D_R y D_A) separan totalmente la raza Comtois de las 7 subpoblaciones (comarcas) del CPC, y la distancia genética de Reynolds (D_R) agrupa las dos razas francesas separadamente de todas las comarcas de CPC. Esto fue debido a que estas razas, Bretona y Comtois, presentan una gran similitud genética (Leroy *et al.* 2009), así como, aunque en menor medida, con el CPC, complicándose mucho su diferenciación. El Comtois y el Bretón, al haber influido mucho en los orígenes del Cavall Pirinenc Català, generaron un resultado similar como si de una única raza se tratase, con lo que el poder discriminatorio entre las subpoblaciones se hace complejo (corroborado además por los bajos valores de *bootstrap* para la distancia de Reynolds). Sin embargo, podemos concluir, un mayor aislamiento genético de la raza Comtois con respecto al CPC, y una más estrecha relación de la raza Bretona con el CPC, y de forma claramente explícita con la comarca de Cerdanya, donde posiblemente la introgresión de genes bretones ha sido muy superior que con el resto de comarcas. Por otro lado nada extraño, pues la relación histórica que ha mantenido esta comarca

con la raza Bretona, está amplia y perfectamente referenciada y documentada en la bibliografía (Turiera 1913; Rossell i Vilà 1916; Gelabert 1951; Torres *et al.* 1983; Cabús 1988; Parés & Parés 1992; Parés & Vilaró 1994; Jordana *et al.* 1995; Parés 1999; Parés *et al.* 2005).

A nivel de comarcas, se hizo complicado obtener una topología consistente, debido a la gran homogeneidad genética existente entre éstas, hecho que queda reflejado en los bajos valores de *bootstrap* de los nodos del árbol. Sin embargo, cabría destacar la comarca del Pallars Jussà como la más aislada, pues en las dos topologías se separa ligeramente del resto, posiblemente debido a que es la comarca con una menor interacción con las demás.

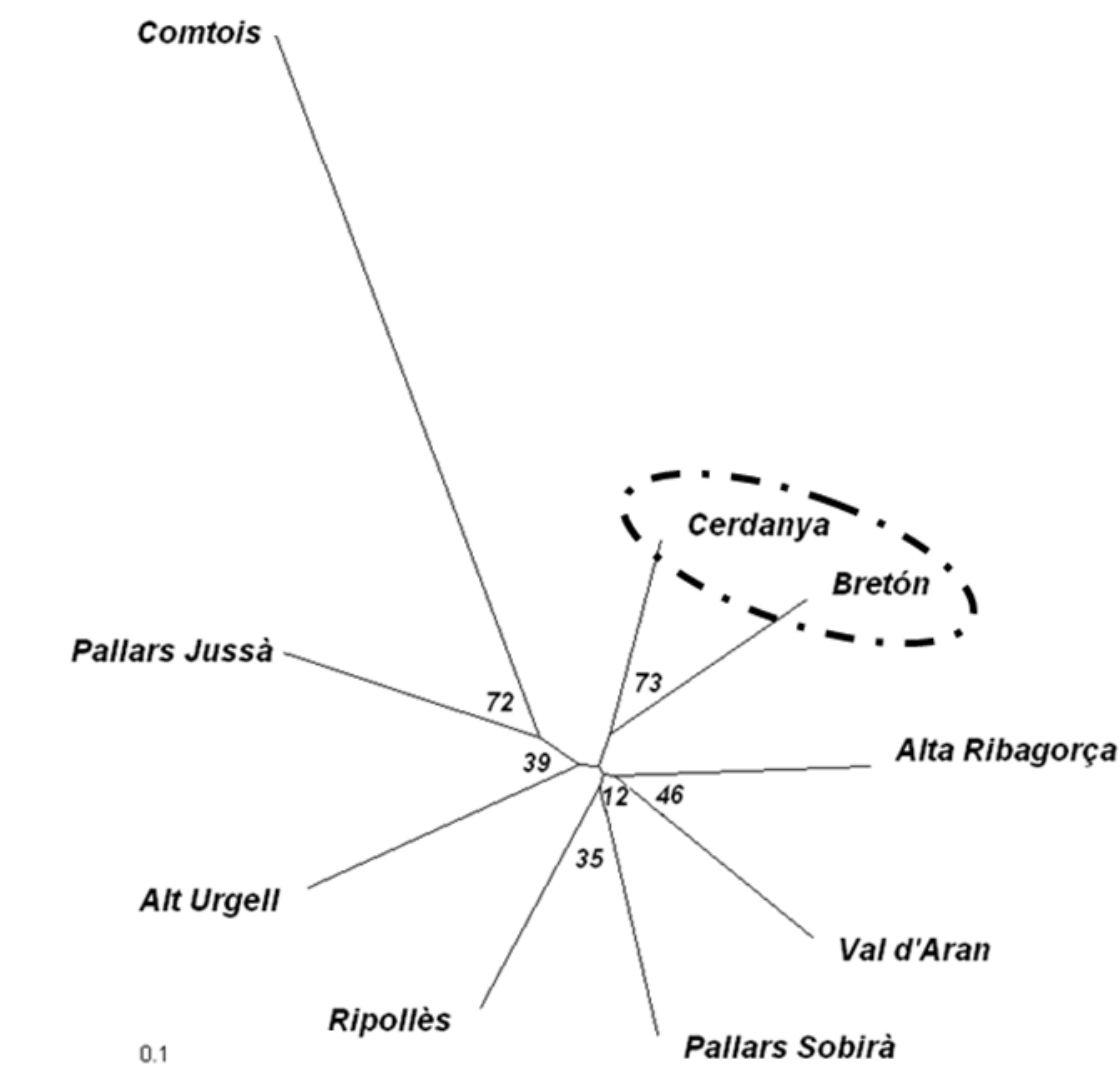


Figura 18. Dendrograma obtenido por el método de agrupamiento *neighbour-joining* a partir de la matriz de distancias genéticas D_A de Nei *et al.* (1983). *Bootstraps* calculados en base a 1000 repeticiones.

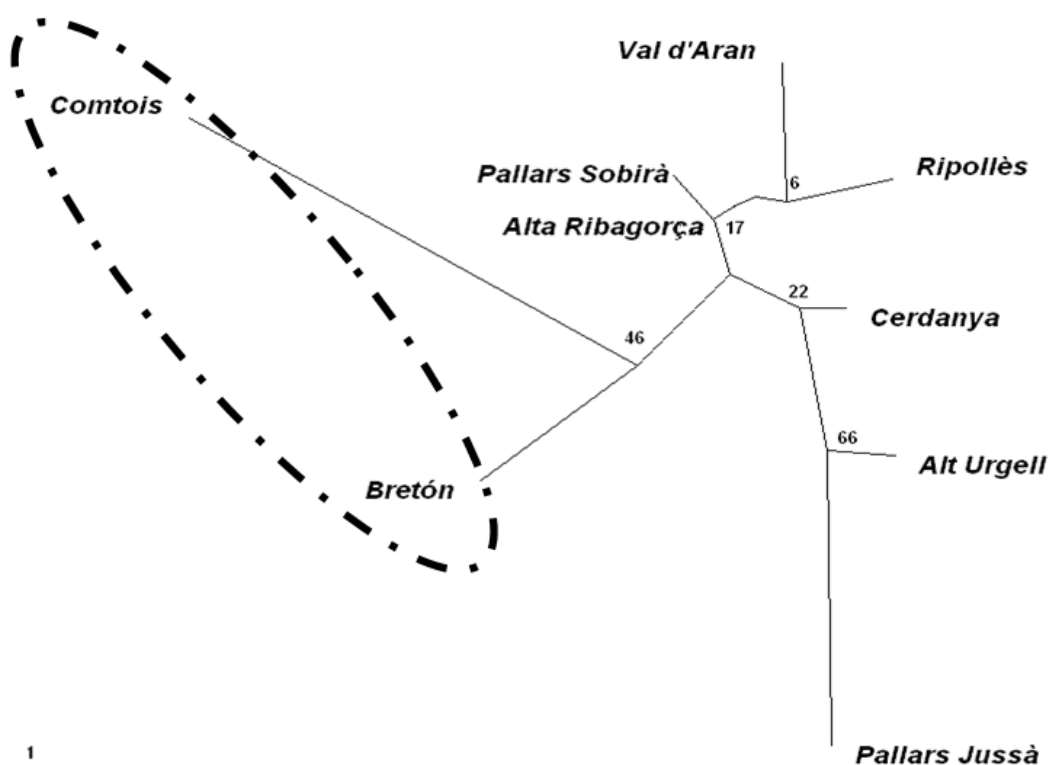


Figura 19. Dendrograma obtenido por el método de agrupamiento *neighbour-joining* a partir de la matriz de distancias genéticas de Reynolds *et al.* (1983). *Bootstraps* calculados en base a 1000 repeticiones.

4.3.2.4. Relaciones genéticas del CPC con otras razas equinas cárnicas españolas

El estudio comparativo con las otras tres razas cárnicas españolas (Proyecto INIA RZ2004-00023) mostró que los porcentajes de asignaciones correctas de los individuos a sus respectivas razas, en base a sus perfiles genéticos, fue muy superior en el Cavall Pirinenc Català (79,31%) que en cualesquiera de las otras razas, a excepción del Pura Raza Española que se tomó como población de referencia (Tabla 23) (Valera *et al.* 2008). Es decir, el CPC presentó una mayor identidad genética que las demás razas cárnicas, lo que le podría conferir la posibilidad de realizar, con mayores éxitos, un análisis de trazabilidad o rastreabilidad de su carne. Por otra parte, el dendrograma de relaciones, obtenido a partir de las distancias genéticas de Reynolds (datos no mostrados), manifestó una mayor similitud del CPC con la Jaca Navarra, revelando asimismo un mayor alejamiento con respecto al Hispano-Bretón (Figura 20.a), el cual se podría pensar “*a priori*” que hubiera tenido vínculos muchos más estrechos con el CPC. Los resultados correspondientes al Análisis Factorial de Correspondencias corroboraron el distanciamiento de los individuos de las diferentes razas (Figura 20.b), sobre todo en lo que hace referencia al CPC y la Jaca Navarra, de forma similar a lo

obtenido en los estudios morfológicos (Valera *et al.* 2008). Lógicamente, se espera que para las próximas generaciones esta tendencia de separación sea cada vez más destacada, siempre y cuando se mantenga un aislamiento reproductivo entre las razas.

Tabla 23. Probabilidad de asignación de los individuos de las distintas razas equinas cárnicas españolas (Proyecto INIA RZ2004-00023).

Raza	Número de Animales	Porcentaje de Asignación Correcta
Jaca Navarra	74	67,57
Burguete	82	45,12
Cavall Pirinenc Català	87	79,31
Hispano-Bretón	136	70,59
Pura Raza Española	64	100
Total	485	80,82

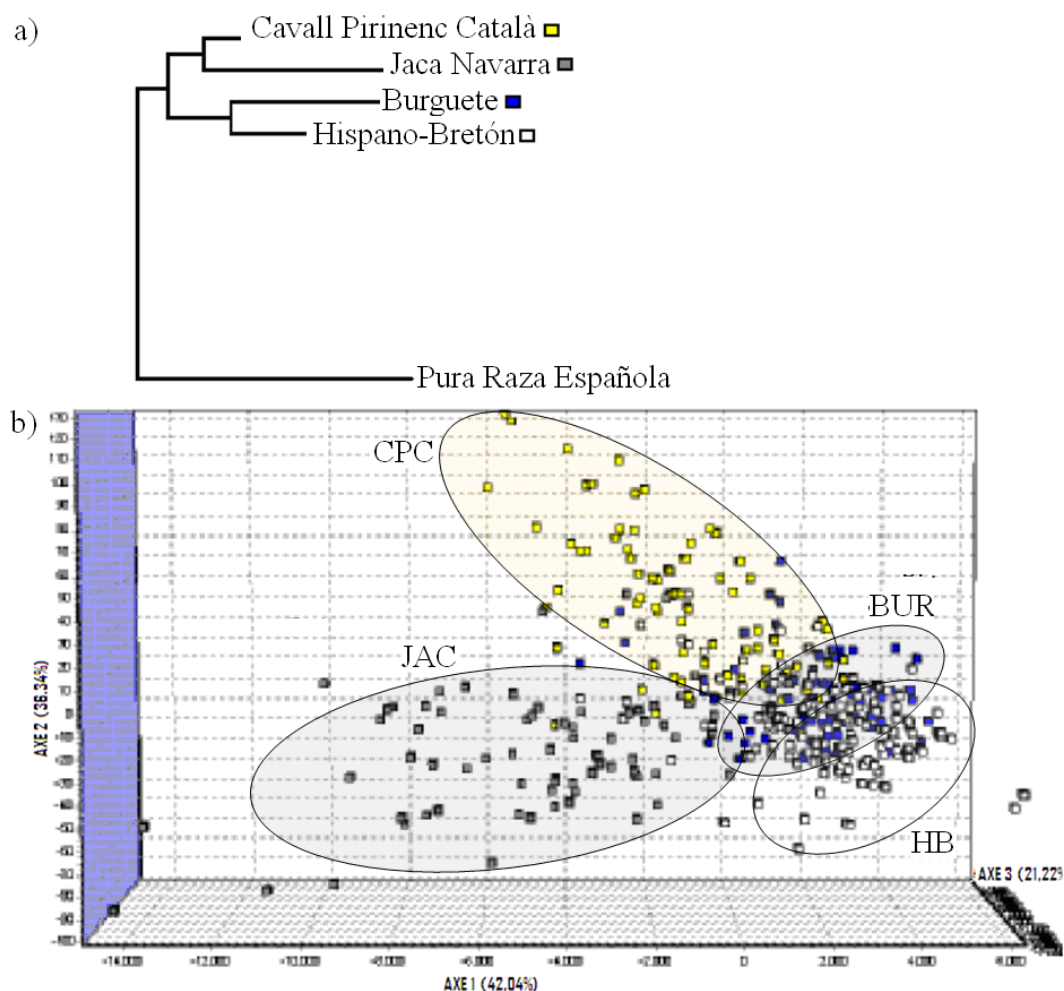


Figura 20. a) Árbol obtenido por el método de agrupamiento *neighbour-joining* a partir de la matriz de distancias genéticas de Reynolds (Proyecto INIA RZ2004-00023). b) Representación espacial en el análisis factorial de correspondencias (AFC) en tres dimensiones de los individuos pertenecientes a las 4 poblaciones equinas cárnicas españolas (Proyecto INIA RZ2004-00023). CPC: Cavall Pirinenc Català, JAC: Jaca Navarra, BUR: Burguete, HB: Hispano-Bretón.

4.3.2.5. Relaciones genéticas del CPC con otras razas equinas cárnicas españolas a partir del ADN mitocondrial

En el trabajo realizado por Azor *et al.* (2008), (Proyecto INIA RZ2004-00023) en las distintas razas equinas cárnicas españolas (Cavall Pirinenc Català, Burguete, Hispano-Bretón y Jaca Navarra), con relación al ADN mitocondrial, se determinó la existencia de 19 posiciones polimórficas de las cuales 18 fueron posiciones informativas parsimoniosas y 1 no informativa (*singletons*), habiéndose establecido la existencia de 15 haplotipos (datos no mostrados). En la Tabla 24 se presentan los parámetros obtenidos por Azor *et al.* (2008) con respecto a la variabilidad de las secuencias obtenidas para la región D-Loop, en cada una de las 4 razas analizadas. Se puede observar que de las cuatro razas, el CPC es la que presentó menores valores de diversidad haplotípica y nucleotídica. De los 15 haplotipos reportados casi la totalidad fueron compartidos entre las razas analizadas, excepto el haplotipo 8 que sólo se halló en el CPC, el haplotipo 10 en la raza BUR, los haplotipos 13 y 14 en el HB y el haplotipo 15 en la raza JAC (Valera *et al.* 2008). Pérez-Gutiérrez *et al.* (2008) analizaron 53 caballos de la raza Hispano-Bretón y encontraron valores más elevados de diversidad haplotípica (0,975) que para todas las razas cárnicas españolas, con la excepción del BUR, reportadas por Valera *et al.* (2008). Cabe recalcar que el bajo valor encontrado por Azor *et al.* (2008) en el CPC podría ser debido al bajo tamaño muestral, de tan sólo 10 caballos, con lo que este valor pudo verse afectado. Asimismo, el valor obtenido por Pérez-Gutiérrez *et al.* (2008) de 0,878 (0,933 según Luis *et al.* 2006) de diversidad haplotípica para una población de 40 caballos de Pura Raza Española (PRE), también sobrepasa, con creces, el valor hallado para el CPC.

Tabla 24. Parámetros de variabilidad en el ADN mitocondrial en las razas equinas españolas de aptitud cárnica (Proyecto INIA RZ2004-00023).

Raza	N	Diversidad Haplotípica		S	PIP	PNI	Diversidad Nucleotídica	
		H	Hd				K	π
JAC	11	8	0,945	17	13	4	6,182	0,02351
BUR	10	7	0,993	21	14	7	7,917	0,01984
CPC	10	6	0,758	9	5	4	2,394	0,01516
HB	10	6	0,844	21	18	3	7,732	0,02138

N: tamaño muestral, H: número de haplotipos, Hd: diversidad haplotípica, S: número de sitios variables, PIP: posiciones informativas parsimoniosas, PNI: posiciones no informativas o singletons, K: número medio de diferencias nucleotídicas, π : diversidad nucleotídica.

La alta variabilidad hallada en la región hipervariable del ADNmt en las razas estudiadas en este trabajo, confirma los múltiples orígenes maternos de los caballos domésticos, previamente indicados por otros autores (Vilà *et al.* 2001; Jansen *et al.* 2002; Royo *et al.* 2005). La diversidad poblacional equina a nivel del ADNmt mostró una total ausencia de estructuración geográfica, correspondiéndose muy pocos de los haplotipos con razas, grupos raciales o áreas geográficas. No obstante, se hallaron algunos haplotipos que son exclusivos a ciertas razas (Hap8 en CPC; Hap10 y 12 en BUR; Hap13 y 14 en HB o Hap15 en JAC) o a grupos de razas (Hap9 y Hap11 en BUR, HB y JAC), lo cual debería, primero, ser corroborado, aumentando para ello el tamaño muestral, y segundo, ser tenido en cuenta a la hora de llevar a cabo los planes de conservación.

4.4. PREVALENCIA DE PORTADORES DE LA ENFERMEDAD EPIDERMÓLISIS BULLOSA (JEB) EN EL CAVALL PIRINENC CATALÀ

La amplificación del fragmento de ADN genómico (173 pb) correspondiente al exón 10 del gen *LAMC2* de los equinos fue exitosa (Figura 21). En la Tabla 25 se presentan los resultados de los análisis correspondientes a 205 animales (92 hembras y 113 machos) de las siete comarcas donde se ubica la raza, para la detección de portadores de la mutación causal de la enfermedad genética recesiva Epidermólisis Bullosa (JEB). Se detectaron 8 individuos portadores, 4 hembras y 4 machos. El porcentaje de portadores (prevalencias) fue similar entre sexos, aunque ligeramente superior en las hembras (4,35%) que en los machos (3,54%).

A nivel comarcal se detectaron individuos portadores en cuatro de ellas, con unas prevalencias muy parecidas: Alta Ribagorça (5%), Ripollès (4,76%), Pallars Sobirà (4,65%) y Cerdanya (4,35%). No se detectaron portadores en las comarcas del Alt Urgell, Pallars Jussà y Val d'Aran. No obstante, y debido al reducido número de animales muestreados en estas tres comarcas ($N < 15$), no podemos descartar que el hecho de no haberlos detectado esté provocado por un efecto del muestreo.

La prevalencia de portadores en el global de la raza fue de casi un 4% de portadores (3,9%). Este valor fue más bajo que los reportados en otras razas equinas europeas de tipo pesado, que van del 8% al 27%, y entre las que se encuentran el Bretón y el Comtois (Baird *et al.* 2003; Finno *et al.* 2009). La prevalencia media de sementales

portadores en razas próximas al CPC, como son el Trait Bretón o el Trait Comtois, fue del 14% y el 8%, respectivamente. Estas razas fueron muy utilizadas, en décadas anteriores, por los criadores, con la finalidad última de incrementar el tamaño corporal y mejorar las aptitudes cárnicas en el Cavall Pirinenc Català. Al eliminar este flujo, tras la instauración del Libro Genealógico del CPC, se espera que la incidencia de la enfermedad no aumente. Sin embargo, sería conveniente analizar a todos los reproductores, o por lo menos a los sementales, para controlar los apareamientos, y por lo tanto, la incidencia de la enfermedad en las crías.

Al ser ésta una enfermedad que sigue un patrón hereditario autosómico recesivo, y a modo de ejemplo, asumiendo apareamientos al azar entre los machos y las hembras del CPC, podemos apuntar los siguientes valores de incidencia en la población:

- La probabilidad de que nazca un potro afectado de JEB es del 0,04%, es decir, en 1 de cada 2500 nacimientos.
- La probabilidad de que un animal portador tenga descendencia afectada es del 1%, es decir, 1 de cada 100 nacimientos.
- La probabilidad de que una pareja de portadores tenga descendencia afectada es del 25%, es decir, 1 de cada 4 nacimientos.

Por lo tanto, si se realizara una buena detección de portadores, de forma óptima en machos y hembras pero en cualquier caso imprescindible en sementales, y una buena planificación de los apareamientos, se podría reducir al mínimo la prevalencia de la enfermedad sin deterioro ni merma de los intereses económico-productivos de los criadores, pudiendo en pocas generaciones lograr la erradicación completa de la misma.

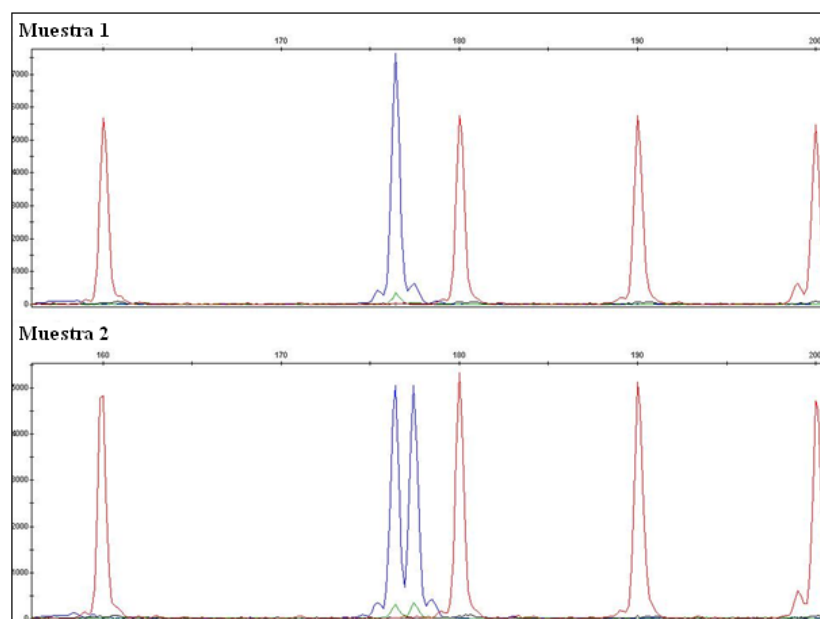


Figura 21. Genotipos para dos muestras de Cavall Pirinenc Català para la detección de la mutación 1368insC. Muestra 1: Caballo normal. Muestra 2: Caballo portador (alelo con la mutación en el pico azul de la derecha). Picos en rojo: marcador de peso molecular que permite determinar el tamaño de los fragmentos amplificados.

Tabla 25. Número de individuos analizados y de portadores (heterocigotos) para la mutación 1368insC según la comarca de origen y el sexo, en la raza CPC.

Comarca	♀ Analizadas	♂ Analizados	Total	♀ Portadoras	♂ Portadores	Total
Val d'Aran	12	1	13	0	0	0
Alta Ribagorça	14	6	20	1	0	1
Pallars Jussà	9	5	14	0	0	0
Alt Urgell	2	5	7	0	0	0
Pallars Sobirà	10	76	86	2	2	4
Cerdanya	13	10	23	0	1	1
Ripollès	32	10	42	1	1	2
Total	92	113	205	4	4	8

DISCUSIÓN GENERAL

5. DISCUSIÓN GENERAL

En el capítulo correspondiente de la presente tesis sobre la caracterización estructural de las explotaciones del CPC en Catalunya, se evidenciaron varios aspectos sociales importantes, los cuales dan una pequeña aproximación a la importante cultura ganadera del caballo de carne en los pirineos catalanes, la cual es muy antigua, según lo atestiguan los datos históricos recopilados y la edad de algunas de las explotaciones.

5.1. Algunos apuntes personales en cuanto al concepto y reconocimiento de raza

Tal vez, la definición de raza que mejor se adapta al Cavall Pirinenc Català sea la propuesta por la FAO en la declaración de Interlaken (2007), *“las razas son conceptos culturales más que entidades físicas”*. Y no es porque no pueda enmarcarse dentro de las definiciones “biológicas” de raza, como las dadas por González (1903), Kronacher (1937), Aparicio (1956), Alderson (1974), Turton (1974) o Cavalli-Sforza (2000) por ejemplo, sino porque detrás de esta población animal existe una cultura creada sobre un espacio, un tiempo y un personal único (los ganaderos pirenaicos). Como se intuye, podría llegar a ser complicado alcanzar un consenso entre los académicos para tal definición. Un gran número de criadores tienen sus propios criterios de selección y reproducción, y muchas veces, pueden estar en desacuerdo con los requerimientos exigidos por la entidad competente. Además, tal y como lo expresa Orozco (1985), *“nadie puede impedirle a un ganadero, a un técnico o a cualquier persona que tenga acceso a un conjunto de animales definir una población concreta como raza...”*, y continua con los requisitos necesarios para ello. Hoy día, los requerimientos exigidos por parte de las entidades gubernamentales para reconocer una población como raza son muy elevados. Estas exigencias incluyen estudios genéticos y morfológicos para determinar la armonía, la homogeneidad y el grado de diferenciación de ésta con respecto a las demás razas. Pero en el pasado, cuando se evaluaba una población, no se disponía de las herramientas bioinformáticas ni tecnológicas que existen en la actualidad, con lo que los criterios de aprobación podían ser muy distintos. Por ello, es posible que muchas de las razas catalogadas en su momento como tales, no tuviesen ni la homogeneidad ni la diferenciación exigidas actualmente. El rigor de las entidades de control es muy elevado, con lo que muchas poblaciones animales no pueden llegar a cumplir con dichas exigencias (en un prudente plazo) para ser catalogadas como raza. Como consecuencia de ello, puede darse el caso que muchos ganaderos opten por dejar la actividad ganadera al no poder acceder a las ayudas económicas de raza oficialmente

reconocida, para producir sus productos. Así que, de un modo u otro, es responsabilidad de la administración dar apoyo, tanto económico como académico (por parte de universidades y centros de investigación), para que prosperen las iniciativas de reconocimiento racial. Se deberían postular y primar, cada vez más, otros aspectos relevantes, tanto económicos como ecológicos, así como de desarrollo y sustentabilidad rural, etc., inclusive la importancia histórica y cultural de los animales y sus productos, y la identificación de los mismos con la población humana que los consume o los disfruta (Gandini & Giacomelli 1997). Se debería realizar un mayor esfuerzo para ponderar, más y mejor, estos aspectos, que suelen quedar bastante al margen en la supuesta catalogación de raza.

5.2. Proceso de reconocimiento del CPC como raza

El Cavall Pirinenc Català se originó a partir del cruce entre yeguas del extinto Caballo Catalán con sementales pesados europeos, principalmente de las razas Bretona y Comtois, así como la Percherona y el Ardennais. Estas razas, que en un principio fueron traídas para colonizar las montañas pirenaicas catalanas, con la finalidad de conseguir un mejor provecho de su gran masa corporal, no se adaptaron de forma suficientemente eficaz al medio. Lo mismo, según Pérez-Gutiérrez *et al.* (2008), ocurrió con el Hispano-Bretón en Castilla-León. Existe todavía una cierta controversia (aunque cada vez más testimonial) en cuanto al nombre con el que se denominaba al CPC en el pasado, y más aún en la comarca de Cerdanya, donde se le conocía como Bretó Cerdà o Hispanobretón de la Cerdanya. Esto generó un problema de identidad de la población en la zona, además de vincular al Cavall Pirinenc Català nominalmente con el caballo de Castilla-León. Este hecho es totalmente erróneo, pues la base materna que originó el Cavall Pirinenc Català en Catalunya y el Hispano-Bretón en Castilla-León, son totalmente distintas. Otra consecuencia de este hecho fue que los ganaderos de Cerdanya propusieran un nombre para esta agrupación: Cavall Cerdà o Cavall dels Pirineus (Cabús 1988). En el año 2004 se estableció un convenio de colaboración entre la Universidad Autónoma de Barcelona y la Generalitat de Catalunya para caracterizar esta población, con lo que pasó a denominarse, tentativa y provisionalmente, como Agrupación Hiper métrica Pirenaica o AHP (Parés *et al.* 2005). El día 13 de diciembre de 2007, en reunión mantenida en las dependencias del DAR (Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural - Generalitat de Catalunya), con

representación de todas las Asociaciones, Administración y Universidad, se aprobaría el estándar oficial así como su nombre actual: Cavall Pirinenc Català.

5.3. Importancia del CPC en el sector ganadero equino en los Pirineos catalanes

En el capítulo correspondiente de la presente tesis sobre la caracterización estructural de las explotaciones del CPC en Catalunya, se evidenciaron varios aspectos sociales importantes, los cuales dan una pequeña aproximación a la importante cultura ganadera del caballo de carne en los pirineos catalanes, la cual es muy antigua, según lo atestiguan los datos históricos recopilados y la edad de algunas de las explotaciones.

El primer Matadero Oficial en Catalunya data del año 1904 y estaba situado en Figueres (Girona), y la primera carnicería data del año 1910 (Cano *et al.* 2010). Además, Aparicio (1948), ya incluye esta población en su libro *Zootecnia Especial* como “raza” de tracción española, al igual que lo hicieron anteriormente Moyano & Rueda (1923). Por otra parte, los datos demográficos de los criadores del CPC muestran un elevado porcentaje de ganaderos mayores (de más de 50 años), que continúan aún con la tradición ganadera. Los datos también reflejan la baja representación de jóvenes ganaderos, con lo que el relevo generacional es bajo ($\approx 20\%$), o por lo menos incierto, en una gran mayoría de casos. Estos reducidos porcentajes no sólo se presentan en el CPC, si no que también se evidencian en otras razas equinas cárnicas como el Hispano-Bretón (Yanes & Yanes 2007). La incertidumbre del relevo generacional en las explotaciones es generalizada en los ganaderos catalanes, quienes intuyen el fin de la tradición familiar.

Esta antigua tradición, en los Pirineos catalanes, fomentó el establecimiento de una red de actividades tanto lucrativas como recreativas. Esta red está formada por una gran diversidad de profesionales: criadores (de cría, recría o engorde), cocineros (de recetas típicas con la carne de caballo), carniceros, arreadores, transportistas, veterinarios, además del personal indirectamente asociado, como los que laboran en empresas de comercialización de pienso, equipos, instrumentación, etc. Todas estas interacciones son importantes a la hora de evaluar la importancia de la raza. Se debe hacer énfasis en que muchas razas autóctonas, como lo es el Cavall Pirinenc Català, son el recurso más valioso para muchas zonas rurales. Las razas comerciales, a diferencia de las autóctonas, no están asociadas a una cultura a preservar, además de que suelen emplear

un sistema de producción más en intensivo, con lo que generan una migración del campo y por ende la pérdida de población rural.

5.4. El cambio de utilidad en el CPC, de caballo de tiro a caballo de carne

En gran parte de Europa los caballos de tipo pesado, como el Cavall Pirinenc Català, han tenido que soportar un cambio de orientación abrupto en su utilidad, debido básicamente a la mecanización del campo. Algunos ejemplos de las razas equinas de tipo pesado europeas que han experimentado este cambio, y por lo tanto una drástica disminución censal, son: el Hispano-Bretón (Pérez-Gutiérrez *et al.* 2008), el Belga (Janssens 2010), el Ardennais (Leroy *et al.* 2009) o el Rhenish alemán de sangre fría (Aberle *et al.* 2004).

Muchos ganaderos europeos empezaron a contemplar la opción de comercializar la gran masa muscular de sus caballos, y así no extinguir la labor ganadera equina. Los caballos tenían características deseables para la industria cárnica, con proporciones bondadosas en la canal. Además, la hipofagia se viene realizando desde hace mucho tiempo atrás (milenios), de hecho, muchas de las imágenes rupestres que existen en multitud de cuevas y yacimientos prehistóricos relatan la cacería de este herbívoro. No obstante, todavía, la hipofagia no tiene demasiada aceptación entre la gente, siendo considerados de forma mayoritaria los equinos aún como animales exclusivamente de compañía.

Por otro lado, la carne de caballo se considera de baja calidad, lo que perjudica su comercialización con respecto a otras carnes (cerdo, vaca, pollo). Aunque lo que muchas personas no saben es que la carne de caballo es muy beneficiosa para la salud. alguna de las propiedades benéficas de este tipo de carne son: contiene menos lípidos que la carne de vacuno o la de cerdo, la relación de ácidos grasos insaturados y ácidos grasos saturados es mucho mejor que en la carne de vacuno (esto quiere decir que los ácidos grasos insaturados están en mayor proporción que los saturados), la proporción de proteínas es similar al vacuno y la carne de caballo tiene poco colágeno muscular, lo que hace que dicha carne sea más fácil de masticar (Fábregas 2002). El músculo del caballo es rico en nitrógeno proteico, purinas e hipoxantina, tiene un bajo nivel de lípidos y el contenido de glúcidos es más elevado que en la carne de vacuno (Luengo 2001). El Cavall Pirinenc Català se sacrifica, generalmente, al año del nacimiento. Sin embargo, deberían realizarse los oportunos y correspondientes estudios organolépticos

en la raza, para así establecer la edad más óptima para el sacrificio. También se debería tener en cuenta el tipo de alimentación del animal. Si el animal ha sido alimentado con avena se nota en el color y la ternura de la carne. Sin embargo, si ha sido alimentado a base de forraje y paja, la carne es menos roja y algo más dura. En definitiva, si se compra carne de caballo, es preferible que sea de un rojo intenso y de olor insulso (Fábregas 2002). En el CPC, la alimentación suele ser mayoritariamente a base de hierba de montaña y paja, pero se podría analizar el coste que conlleva incorporar la avena en la dieta. El principal problema radica en que es un caballo que está libre en la montaña durante muchos meses al año, con lo que podría hacerse bastante complicado incorporar este tipo de dieta.

5.5. Otras utilidades para el CPC

Actualmente, se han venido atribuyendo nuevas funciones para los caballos de tipo pesado, distintas a la producción cárnica. En Galicia, por ejemplo, combinan la producción de carne con la limpieza de los montes, al igual que lo vienen haciendo diferentes criadores en Catalunya. La limpieza de bosques y montes es de vital importancia para disminuir el riesgo de incendios forestales y, de manera secundaria pero no menos importante, para dar al paisaje pirenaico un mayor atractivo visual de la vida rural, con lo que los pueblos pirenaicos podrían ver aumentar sus ingresos económicos provenientes del turismo. Por otro lado, el número de explotaciones que se están dedicando a la producción de carne equina ecológica aumentó a 33 en el año 2010 (en el año 2009 eran 25 explotaciones), habiendo encontrando por tanto otra salida económica o utilidad para el caballo de carne, pues los criadores ven una gran oportunidad empresarial al estar cada día más en auge el ecologismo, tanto a nivel nacional como internacional (www.agrodigital.com/PlArtStd.asp?CodArt=76885).

5.6. Proyección futura de la raza

Según la clasificación de la FAO, el Cavall Pirinenc Català no estaría incluido como raza en peligro de extinción de acuerdo con su censo actual (No en peligro: número de hembras reproductoras superior a 1000 y número de machos reproductores superior a 20), ya que existen cerca de 4500 yeguas y unos 500 sementales registrados en el Registro Fundacional del Libro Genealógico. Este sistema de clasificación dado por la FAO puede resultar arbitrario y ambiguo. No se deberían clasificar las razas, en sus

diferentes estados de riesgo, basándose única y exclusivamente en el tamaño de la población.

Leroy *et al.* (2009) plantean el mismo debate al estudiar 34 razas equinas francesas. Las razas son un sistema, o categoría taxonómica, mucho más complicado de lo que se cree. Uno de los componentes más importantes, sino el que más, es el ganadero: si éste llegase a desaparecer lo haría consecuentemente la raza, con lo que el vínculo animal-criador es de vital importancia. Los criadores del Cavall Pirinenc Català, al igual que muchos otros criadores en España, temen por la continuidad de las explotaciones en las próximas generaciones. Así que se debería de tener en cuenta por parte de la FAO y demás organizaciones, la infraestructura que existió, la que existe y hacia dónde se dirigen en el futuro los recursos genéticos de los animales domésticos, para dar así unas pautas más acordes acerca del verdadero riesgo de las razas.

Todo lo expuesto anteriormente sirve para hacernos reflexionar sobre el futuro del CPC. Razas como el Cavall Pirinenc Català se encuentran realmente en un peligro latente que suele ser desestimado por el actual sistema de clasificación de riesgo, y que las entidades gubernamentales muchas veces pasan por alto a la hora de otorgar ayudas al sector. Las ayudas a los ganaderos no deben ser tan sólo económicas, sino que deberían abarcar un amplio rango de actividades, tales como: ayudas de formación empresarial e infraestructuras, además de ofrecer herramientas útiles para sus ganaderías, como puede ser un buen programa de conservación y mejora genética, donde se gestionen los apareamientos, las genealogías, etc., y que tenga como objetivos mantener la mayor variabilidad genética, minimizar los niveles de consanguinidad para evitar los problemas derivados de la depresión consanguínea y mejorar genéticamente los caracteres de interés selectivo y económico para los ganaderos.

Un magnífico ejemplo de una excelente gestión en este sentido, es el que se realiza en la comunidad de Navarra, donde la productividad de carne de equino ha aumentado de una manera excepcional durante los últimos años: el número de animales sacrificados en el año 2007 fue de 398 (años 2006 y 2005 de 387 y 370, respectivamente), en el año siguiente, 2008, se sacrificaron 3848 animales (10 veces más que el año anterior), y ya en el 2009 se sacrificaron 3927 (www.marm.es/es/estadistica/temas/encuesta-de-sacrificio-de-ganado). Las encuestas realizadas a los ganaderos del CPC reflejan la

creencia de que la falta de colaboración por parte de la Administración ha sido, y es, el principal escollo para mejorar el rendimiento económico de la producción equina. Debido a esto, la mayor parte de los ganaderos encuestados califican de manera regular la economía de su explotación y culpan de ello a las entidades encargadas de fomentar la raza (sic). En el año 2007 se conformó la Federación de Criadores del Cavall Pirinenc Català (FECAPI), entidad que asumió la responsabilidad de promover, defender, divulgar y mejorar las características singulares de esta raza, y velar asimismo por el mantenimiento del prototipo racial definido en su libro genealógico.

5.7. Fomento del CPC

El personal encargado del fomento del Cavall Pirinenc Català debería empezar a buscar medios para promocionar su producto. Por ahora, se ha podido acceder a noticias relacionadas con el CPC a través de la página web de la federación FECAPI (www.federaciocavallpirinenccatala.blogspot.com), así como de la red social Facebook (www.facebook.com), bajo el título: *Jo Tambè Tinc un CPC* (Yo también tengo un CPC). Pero hace falta un esfuerzo mayor para promocionar la raza a través de los medios de comunicación. En este sentido cabe resaltar la gran labor realizada por el señor Joan Moret (Ripollès), para difundir y defender en los medios de comunicación de gran audiencia, como la Televisión de Cataluña TV3, y medios de alcance más local como ruralcat.net, la carne de potro, además de otras utilidades del CPC.

Los criadores del Cavall Pirinenc Català, así como de otras razas autóctonas, podrían obtener un gran beneficio de Internet, pues ésta es una excelente herramienta de trabajo con la que pueden dar a conocer sus productos a nivel mundial (además de la cultura catalana). Internet es una herramienta con la que se puede promocionar un determinado producto autóctono (carne, leche, queso, etc.) de una manera barata y eficiente, a diferencia de los elevados costos que acarrearán los comerciales en la televisión o prensa. Aunque Internet también puede ser utilizado en contra del criador, al crearse foros y publicaciones con la única finalidad de debatir temas controvertidos, entre ellos el inhumano consumo de carne de caballo (y de otras muchas especies). Gran cantidad de personas ven mal este tipo de práctica, ya que humanizan al caballo y consideran que su consumo no es ético, así que manifiestan su inconformidad en medios como Facebook o Twitter tildándolo como un acto inhumano. Sin embargo, otras veces, los criadores se benefician con esta clase de medios de comunicación, como son las redes sociales. Un

ejemplo sería el mobbing rural, al que venían siendo sometidos algunos ganaderos de caballos y vacas en Catalunya (como por ejemplo el pueblo de Camprodón en la comarca del Ripollès), donde un determinado número de vecinos de temporada (turistas y/o personas con segundas residencias) presentaron quejas al Ayuntamiento por el sonido producido por las esquilas de los caballos, pues según ellos les impedía dormir. Como respuesta, se creó un grupo en la red social Facebook con el nombre “*NO al mobbing rural! Les vaques porten esquella i la merda fa pudor!*” (No al mobbing rural! Las vacas llevan esquilas (campanas) y la mierda huele mal!), que cuenta a día de hoy con 30000 seguidores que apoyan a los ganaderos. Por tal motivo es de vital importancia saber utilizar los recursos que ofrece Internet, para sacar así el máximo provecho para la promoción de un producto. Por todo esto, cualquier iniciativa que de a conocer la existencia de una raza autóctona de caballos de carne en los Pirineos Catalanes y las excelentes aptitudes y propiedades culinarias y dietéticas de este producto han de ser bienvenidas y potenciadas. Ganaderos de otras razas ya utilizan Internet para promocionarse, como en el caso de la raza equina Hispano-Bretón (www.hispanobreton.com), cuya página web incorpora información sobre la raza, la asociación, las recetas culinarias, y además, informa brevemente sobre los beneficios del consumo de carne de potro. La página www.rac.uab.cat publica información sobre las razas domésticas autóctonas catalanas (entre ellas el CPC), aunque es una página destinada más a la divulgación científica. Otra raza equina que tiene una página web interesante es la del Pottoka (www.pottoka.info), donde promociona su utilización para determinadas rutas ecuestres.

Una de las mejores maneras de fomentar una raza, y la más antigua, son las ferias y los concursos morfológicos. La *Fira de Puigcerdà* es una de las principales ferias ganaderas de caballos de carne en la zona y de más tradición en España, y tiene lugar en el mes de noviembre en Puigcerdà, capital de Cerdanya (Parés *et al.* 2005). Otras ferias importantes para el sector ganadero equino en Catalunya son: en septiembre la *Fira de Bestiar de Fontalba* que se realiza en Queralbs (Ripollès); en octubre la *Fira de Santa Teresa* que se realiza en Esterri d’Aneu (Pallars Sobirà); en la comarca de la Val d’Aran se llevan a cabo la *Fira de Bossòst*, la *Fira de Les*, la *Fira de Salardú* y la *Fira de Vielha*, durante el mes de octubre. Y finalmente, en el mes de noviembre, se realizan las ferias de: *Fira de Salàs de Pallars* en Salàs de Pallars (Pallars Jussà), *Fira de Sant*

Martirià en Banyoles (Pla de l'Estany) y *Fira de Sant Andreu* en Organyà (Alt Urgell) (www.rac.uab.cat/FIRES/AHPFIRES.htm).

5.8. Aspectos morfológicos para el CPC

Al realizar el estudio zoométrico para la población del CPC, se evidenció la gran uniformidad que existe entre los individuos del Cavall Pirinenc Català, uno de los requisitos exigidos para obtener el estatus de raza oficialmente reconocida. Aunque en este trabajo no se evaluaron los caracteres fanerópticos y, por lo tanto, sólo se refiere a la homogeneidad biométrica como tal. El análisis canónico mostró una continuidad entre los individuos, aunque se percibió un leve aislamiento entre los individuos de algunas comarcas, concretamente entre Pallars Jussà y Cerdanya. Sin embargo, al analizar la dispersión total de los individuos, se evidenció la continuidad de la población en general. Además, se observó una gran homogeneidad para las características morfofuncionales en el análisis de los Coeficientes de Variación (CV), lo que significa que los caracteres tienen un nivel de fijación elevado. Entre las razas equinas cárnica españolas, el CPC presentó los valores más bajos para el Coeficiente de Variación. Adicionalmente, se pudo constatar la gran armonía morfológica que muestra la raza, derivada de la gran proporción de correlaciones positivas y significativas que se obtuvieron (88% de las correlaciones de Pearson). Esto la sitúa en segundo lugar entre las razas equinas cárnica españolas, tras el Hispano-Bretón (91,77%), siendo la Jaca Navarra la que presenta el menor porcentaje (38,82%) según el Proyecto INIA RZ2004-00023).

Por otro lado, corroboramos esta gran uniformidad de la población catalana con respecto a las demás razas cárnica españolas para los caracteres morfométricos, al realizar los análisis discriminantes de asignación racial (100% de asignación racial para los machos y 98,15% para las hembras del CPC, siendo este último valor el más alto entre las diferentes razas). El análisis discriminante también mostró la formación de tres grupos, más o menos bien diferenciados: por un lado la población del CPC, por otro la Jaca Navarra y un tercer grupo formado por el Hispano-Bretón y el Burguete, siendo estas últimas muy similares desde el punto de vista morfométrico.

El prototipo racial del Cavall Pirinenc Català (referenciado en el Diario Oficial de la Generalitat de Catalunya) concuerda con la media de los morfotipos evaluados en la

presente tesis. Aunque algunos caballos estuvieron lejos de cumplir los requisitos del prototipo -siendo excluidos, lógicamente, del Registro Fundacional del Libro Genealógico-. Encontrar en un solo caballo el prototipo ideal no es fácil, y menos cuando no se conocían las características morfológicas a seleccionar, antes de la publicación del prototipo racial en abril de 2008. Algunas características exigidas en el prototipo, que corresponden a la media de la población del CPC son: la heteromorfosis, con caballos de plástica longilínea (aunque se exige la tendencia hacia la plástica sublongilínea), el aloidismo, con perfiles subconvexos (subciroides) y la heterometría, siendo animales de formato subhipermétrico a hipermétrico. Por otro lado, el morfotipo presentó un dimorfismo sexual marcado en el CPC, tal y como se referencia en el prototipo. Más adelante, cuando se instaure el sistema definitivo de valoración morfológica para el CPC, se deberá tener muy claro el tipo de clasificación a utilizar, por lo menos en lo referente a los índices morfológicos (por ejemplo para clasificar la heteromorfosis), debido a que pueden darse resultados distintos dependiendo del índice utilizado. Por ejemplo, los índices de proporcionalidad, corporal y torácico clasifican algunas veces un caballo como brevilíneo para un índice y longilíneo para otro. Aparicio *et al.* (1986) ya lo pusieron de manifiesto, “*el caballo andaluz, por su Índice Torácico, sería ultralongilíneo, mientras que se encuadraría como brevilíneo por el Índice Corporal*”. Lo mismo ocurre para el CPC. El Índice Torácico le da la clasificación de longilíneo y el Índice Corporal lo clasifica como mesolíneo. Del mismo modo, Aparicio *et al.* (1986) argumentan que el Índice Corporal no tiene valor para diferenciar estructuras (el estado graso del animal diversifica el índice: gordo, brevilíneo; flaco, longilíneo), y además, señalan, que la heteromorfosis tiene bases poco sólidas y carece de valor científico y de utilidad en la aplicación etnológica (respecto a los valores dados por Barón). Por otro lado, también se debe tener mucho cuidado al clasificar la heterometría para la raza, ya que este valor varía dentro de cada una. El caballo Andaluz varía de manera significativa para el Índice Dáctilo-Torácico, clasificando individuos dentro de las ganaderías como eumétricos e hipermétricos (es bien sabido que el caballo Andaluz no es una raza hipermétrica). Otro carácter en el que el morfotipo concuerda con el prototipo es la alzada a la cruz. Los caballos analizados presentaron una media de 1,49 metros para yeguas y 1,54 metros para sementales, y en el prototipo oscila entre 1,45 metros y 1,60 metros, con lo que la población del CPC se encuentra dentro del rango exigido. Los caracteres fanerópticos, al no haber sido analizados no se pudieron comparar.

Aparicio (1948) estudió la población equina utilizada como caballo de tiro existente en Catalunya, y registró las siguientes medidas en sementales: 1,55 metros de alzada y 1,90 a 2 metros de perímetro torácico (valores similares al CPC), lo que unido a su diámetro longitudinal proporcionaba índices corporales que oscilaban entre 85 a 87 (subbrevilíneo o mediolíneo según la clasificación Baroniana para el Índice Corporal); cabeza bien proporcionada, de perfiles rectos o entrantes, lo que permitió clasificarlos entre los subconcavilíneos (el CPC actual tiene perfiles rectos a convexos); cuello fuerte y robusto; cruz destacada (en el CPC la cruz no se destaca, siendo está una característica de los caballos de silla) y dorso recto.

5.9. Caracteres productivos en el CPC

Dentro de la caracterización morfológica del Cavall Pirinenc Català se realizó un primer acercamiento a lo que podría llamarse una recogida de datos productivos, lo que en un futuro se deberá hacer con todo el rigor del caso. La toma de datos para las variables productivas se debe realizar tanto para sementales como para yeguas, además de incorporar los factores ambientales que pudiesen influenciar el fenotipo para corregir el análisis, con la finalidad de realizar un programa óptimo de mejora genética. Por ahora, sólo podemos referirnos al CPC como un caballo con unas buenas aptitudes cárnicas, según los índices morfofuncionales de producción de carne (IDC, IPV, IPL, IPT, IPRT e IPP). En comparación con el resto de razas equinas cárnicas españolas, el Cavall Pirinenc Català se encuentra dentro del rango descrito por Valera *et al.* (2008) para los distintos índices morfofuncionales, siendo todas las razas óptimas para dichas valoraciones (aunque la Jaca Navarra presentó un menor tamaño corporal). Por otra parte, se observó que el CPC ha perdido cualidades de tiro, seguramente debido al cambio de orientación en la producción. Antes, los caballos estaban destinados en su mayoría a las caballerizas militares, donde realizaban arduos trabajos de tiro. Pero por lo visto, los índices I1, I2, I3 e I4 no dan una muy buena calificación al CPC actual para el trabajo. Según las medidas dadas por Aparicio en 1948, el Índice 1 tenía mejores valores de aptitud al trabajo, más cercanos a 1,125. Se reitera la necesidad de realizar un estudio riguroso para determinar qué caracteres tendrán mayor valor a seleccionar entre los individuos de la población.

Un buen programa de mejora tendrá en cuenta aspectos relevantes de la población caballar, como por ejemplo el pedigrí, o los valores de heredabilidad de los caracteres de interés. Según la legislación vigente, todas las razas equinas españolas que quieran valorar genéticamente a sus animales en función de su morfología deberán poner a punto un sistema de Calificación Morfológica Lineal (VML) (Valera *et al.* 2009a). Este sistema permite seleccionar animales en función de sus características morfofuncionales, en base a las correlaciones dadas entre cada uno de los caracteres evaluados linealmente y la aptitud específica de cada raza. Igualmente, cada criador puede seleccionar animales que corrijan un determinado defecto en su explotación, en función del valor genético otorgado para cada variable morfológica valorada (Valera *et al.* 2009a). Como aún no se han realizado trabajos de VML en caballos de carne (sí se han hecho varios en caballos de deporte), no se dispone de una referencia cercana a efectos comparativos.

Pero los bovinos de carne han sido desde siempre una referencia para realizar Valoraciones Morfológicas Lineales. El sistema más utilizado de VML en bovinos de carne es el francés. En España, esta metodología se aplica en las razas Asturiana, Pirenaica y Rubia Gallega. El sistema de VML francés incluye 15 caracteres agrupados en 3 grupos: Desarrollo Muscular, Desarrollo Esquelético y Capacidad (o Aptitud) Funcional (Horcada *et al.* 2009). Para la valoración del Desarrollo Muscular, que evalúa las piezas cárnicas de mayor valor económico, se analizan: anchura de hombros, anchura de espalda, grosor del lomo, curvatura de la nalga y anchura de nalgas. Para la valoración del Desarrollo Esquelético se evalúa la altura a la cruz para indicar el grado de desarrollo alcanzado por el animal a una determinada edad, los caracteres de la longitud del lomo, la longitud y la anchura de la grupa, y el grosor de la caña (que dictaminan la base ósea de los cortes cárnicos). La Capacidad (o Aptitud) Funcional evalúa caracteres que hacen referencia a las extremidades anteriores y posteriores, la rectitud de la espalda, y la capacidad de ingestión de alimentos (anchura de mandíbula), que pretende evaluar la capacidad para el pastoreo, entre otras. Existe un cuarto grupo de rasgos en el que se pueden definir otros caracteres que se consideren importantes, como por ejemplo, los relacionados con un estándar racial concreto. Se ha demostrado que el método de VML francés presenta una repetibilidad aceptable para el Desarrollo Muscular (0,64-0,68), Desarrollo Esquelético (0,59-0,74) y la Capacidad Funcional (0,40-0,86) (Horcada *et al.* 2009).

En cuanto a la heredabilidad, un estudio basado en más de 160000 valoraciones de terneros de la raza Limousin determinó una heredabilidad de 0,32 para el Desarrollo Muscular y 0,31 para el Desarrollo Esquelético (Horcada *et al.* 2009). A partir de esta información, se procede a evaluar el rendimiento a nivel de las explotaciones, prediciendo el rendimiento esperable de los animales y obteniéndose un avance genético más rápido. El método BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*) es el más empleado para la valoración genética de los reproductores. La evaluación genética es un proceso cuyo objetivo es identificar genéticamente los individuos existentes en una población y así seleccionar como reproductores aquellos con el mayor mérito genético y descartar los peores. Permite separar los efectos genéticos de los no genéticos, ya que el fenotipo depende del genotipo y el entorno en donde se desempeña el individuo (Martínez & Manrique 2010). Se debe tener precaución al seguir un programa de mejora genética porque cuando se realiza este tipo de programas, por ejemplo mediante la utilización del BLUP, se seleccionan casi siempre unos pocos individuos de la población como reproductores, y como consecuencia, se disminuye el nivel de variabilidad genética. Esto puede conllevar serios problemas a futuro, como el posible aumento de la consanguinidad.

Más adelante, en el Cavall Pirinenc Català se pueden realizar estudios concernientes a la influencia de la genética molecular y la genómica en la mejora de la raza, existiendo en la mayoría de las especies (incluidos los caballos) marcadores genéticos que podrían ser usados para seleccionar individuos con características productivas específicas (crecimiento, leche, carne, velocidad, etc.). De tal manera, en la producción de carne se conoce la acción de un número significativo de genes (vacuno y cerdo mayoritariamente), muchos de los cuales han sido secuenciados, analizado su polimorfismo y su relación con las características de la canal y de la carne (Horcada *et al.* 2009). Por lo tanto, se podría esperar en un futuro la inclusión de una metodología molecular para la selección de los mejores reproductores en el CPC (Selección Genómica).

5.10. Aspectos genético-poblacionales en el CPC

Uno de los problemas más importantes en la gestión de poblaciones es el aumento de consanguinidad que se produce por el apareamiento entre animales emparentados. En el

Cavall Pirinenc Català, por el momento, no existen indicios de consanguinidad. Sin embargo, la subpoblación de la Val d'Aran presenta un ligero aumento (significativo) de su F_{IS} , seguramente debido, en gran parte, a la existencia de alelos nulos para un marcador (*HMS3*), lo cual no influye para nada en los niveles de consanguinidad. También podría haber influido, en dicho déficit de heterocigosis, el hecho de que los ganaderos de esta comarca son los que menos reproductores introducen de fuera en sus explotaciones con respecto a las demás comarcas (lo hace tan sólo el 32% de los ganaderos según el estudio de caracterización estructural de las explotaciones), y por lo tanto reponen, mayoritariamente, machos reproductores nacidos de sementales de sus propias explotaciones. El apareamiento entre parientes ha sido ampliamente utilizado para homogeneizar morfológicamente las poblaciones animales (incrementando el parecido con los animales emblemáticos de la raza) (Gómez *et al.* 2008). Para ello, ha sido necesario realizar un sistema de apareamientos endogámicos y la posterior eliminación, durante muchas generaciones, de los efectos negativos de esta consanguinidad (si se llegasen a producir).

A diferencia de los procesos selectivos, los efectos de la deriva genética son impredecibles (por ser aleatorios), pero afectan de igual manera a la diversidad genética. Además, dependen del tamaño de la población, por eso se recomienda mantener el mayor número posible de individuos cuando se desarrolla un programa de conservación. Ambos procesos contribuyen a una mayor o menor pérdida de la variabilidad genética existente en la población, disminuyendo su capacidad de respuesta ante cambios ambientales en el futuro y su capacidad de respuesta a la selección, natural o artificial a largo plazo (Ballou & Lacy 1995; Oldenbroek 1999; Barker 2001).

El Cavall Pirinenc Català presenta una buena diversidad genética siendo, seguramente, el reflejo del pasado flujo génico con razas francesas de tipo pesado (además de las españolas). El ingreso de “sangre” foránea en el CPC era muy frecuente, al igual que ocurría con otras razas de tiro en España. Una de las razas equinas de tipo pesado francesas más utilizadas para afianzar caracteres en las poblaciones españolas fue el Bretón (también fue una raza muy utilizada para dar origen al Hispano-Bretón). La comarca catalana más influenciada por la raza bretona ha sido la Cerdanya, y se evidencia en uno de los árboles de distancia genética (D_A de Nei *et al.* 1983) y en los *clusters* formados con el programa Structure (Pritchard *et al.* 2000). La importación de

bretones tenía como finalidad incorporar características de mayor envergadura para ciertos caracteres, y hacer que sus caballos tuviesen un buen desempeño en el trabajo (estos caracteres serían luego aprovechados para la producción de carne). La consecuencia del flujo génico de sementales bretones a Catalunya es que aún debe pasar un tiempo (generaciones) para que el CPC se aísle y forme así una entidad genéticamente aislada. Cabe recalcar que el Cavall Pirinenc Català presenta una leve tendencia de aislamiento respecto a las demás razas equinas cárnicas españolas (y se espera también un aislamiento respecto a las razas francesas), lo que es un buen indicativo de la identidad genética que está adquiriendo esta población (otra condición para otorgar el estatus de raza reconocida).

Dentro de la población del CPC, las relaciones entre las comarcas mostraron una cierta correspondencia entre los dendrogramas de distancias genéticas y morfológicas (además, se observó una tendencia al agrupamiento de comarcas colindantes en los dendrogramas). Las comarcas, Cerdanya, Pallars Sobirà y Ripollès, las cuales tienen el mayor censo de CPC y ganaderos en Catalunya, funcionan como centros de dispersión poblacional. La comarca del Pallars Jussà tiende a distanciarse, tanto genéticamente como morfológicamente, del resto de comarcas, debido, tal vez, a una menor interacción con el resto de comarcas (tendencia a formar un núcleo genético). Pero esta comarca debe ser tomada en cuenta ya que es una subpoblación interesante para mantener la diversidad genética (posiblemente no morfológica debido a las exigencias del prototipo) en un futuro.

5.11. Finalizando

A modo de conclusión, decir que la población del Cavall Pirinenc Català posee una gran armonía y una gran uniformidad morfométrica, la cual va ligada a la gran uniformidad genética presente entre los individuos de la población. Cabe resaltar, además, el elevado nivel de diversidad genética y la baja consanguinidad, con lo que la alta fijación racial que presenta la raza no se debe al efecto de la endogamia. Además, se demuestra la tendencia de separación del CPC con respecto a las demás razas cárnicas españolas. Este aislamiento demuestra que aunque se tenga en parte la misma base ancestral, el tiempo, la orografía y el tipo de selección que se han dado en las diferentes razas han llevado a la formación de entes únicos (razas), irreemplazables e independientes. Aunque a algunas razas aún les queda camino por recorrer para conformar poblaciones

separadas, como es el caso del Hispano-Bretón y el Burguete, razas que comparten un origen ancestral, y cuya similitud actual se observa en los análisis genéticos y morfológicos.

A finales del 2008, se presentó el Informe Técnico del Cavall Pirinenc Català a la Comisión de Coordinación del Programa Nacional de Conservación, Mejora y Fomento de las Razas Ganaderas del MARM (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino), para que el Comité de Razas de Ganado en España aprobara la inclusión de esta como raza autóctona de protección especial, en el Catálogo Oficial de Razas de Ganado de España. El día 5 de mayo de 2009 se defendió esta propuesta ante los miembros del Comité, y a día de hoy aún se espera la resolución definitiva. Cabe destacar que el CPC, con sus poco más de 5000 individuos registrados, desde hace muy poco tiempo, en el libro genealógico, tiene un futuro incierto, pero que con una buena gestión puede ser muy prominente y esperanzador. Lo que queda por delante es mucho trabajo, tanto por parte de los criadores como de las entidades gubernamentales, pasando por las instituciones académicas e investigadoras, en el objetivo común de mejorar cada vez más la raza. Se han mostrado las cualidades que posee la población del Cavall Pirinenc Català; ahora lo importante es fomentarla. Ya hemos visto, por ejemplo, que la producción de carne equina en Navarra durante los últimos años se ha fortalecido de una manera sorprendente, pasando de ser razas (Jaca Navarra y Burguete) en vía de extinción a razas que están entre las de mayor producción de carne equina en España, con lo que se espera que el Cavall Pirinenc Català tenga un futuro similar, o mejor.

Todo lo expuesto dentro de la discusión general sólo pretende aportar un punto de vista diferente y particular acerca de la importancia de la conservación de un determinado tipo de caballo, como es el Cavall Pirinenc Català. Si éste se extinguiese, debilitaría los cimientos sociales, culturales, ecológicos, económicos, etc., de muchos pequeños y antiguos pueblos de los Pirineos catalanes, lo que acarrearía una cierta migración de gente hacia las ciudades, con el consecuente despoblamiento rural.

CONCLUSIONES

6. CONCLUSIONES

Las conclusiones derivadas de la presente tesis de acuerdo a los resultados obtenidos fueron:

Conclusión general:

Las múltiples evidencias existentes a todos los niveles (estructural, morfológico y genético) confirman, de forma fehaciente, que la agrupación racial denominada “Cavall Pirinenc Català” (CPC), se corresponde con un ente: social, económico, cultural, geográfico, morfológico y genético, perfectamente definido y establecido, y claramente diferenciado de otras agrupaciones equinas cárnicas del ámbito geográfico del estado español. Por todo ello, proponemos que esta agrupación racial equina de aptitud cárnica sea considerada en el estatus de RAZA oficialmente reconocida por la autoridad competente del Comité de Razas de Ganado de España.

Conclusiones específicas:

1. El censo actual de animales inscritos en el Registro Fundacional del Libro Genealógico es de 5.047 reproductores (4.555 yeguas y 492 sementales), propiedad de los 309 asociados a la federación (FECAPI). Las comarcas que concentran el mayor número de criadores y caballos reproductores (aprox. 75% de ambos) fueron: Cerdanya, Pallars Sobirà y Ripollès, destacando, no obstante, la comarca de Cerdanya con casi un 40%.
2. La elevada edad media de los ganaderos (> 50 años) y el escaso relevo generacional garantizado (< 20%) son los principales factores limitantes para el devenir de la raza.
3. El sistema de producción para el Cavall Pirinenc Català es totalmente extensivo, estando al aire libre gran parte de su vida, siendo por tanto un animal de tipo muy rústico y perfectamente adaptado a las características orográficas y ambientales de los Pirineos catalanes.
4. Los ganaderos utilizan sólo la monta natural, siendo libre en la gran mayoría de los casos. El Cavall Pirinenc Català presentó unas elevadas tasas de fertilidad y natalidad. Destetan sus potros a los 6 meses y venden el ganado al año del nacimiento. La rentabilidad de las explotaciones se basa en una inversión baja, un manejo sencillo y una producción de bajo coste. No obstante, para muchos ganaderos los beneficios generados actualmente no compensan nuevas

- inversiones e incluso puede verse comprometida la propia viabilidad de la explotación.
5. El Cavall Pirinenc Català presentó una gran armonía morfológica entre los individuos de la raza (el porcentaje de correlaciones positivas y significativas fue $> 85\%$). Del estudio morfológico comparativo por comarcas se concluye que estamos ante una población morfológicamente muy uniforme (valores relativamente bajos de distancia de Mahalanobis), siendo atribuibles las pequeñas diferencias a los diferentes sistemas de manejo y a la propia orografía y hábitat de las comarcas. Existe un marcado dimorfismo sexual, con un acusado predominio del tercio anterior en los machos.
 6. El Cavall Pirinenc Català se puede catalogar como una raza de plástica sublongilínea, de formato subhipermétrico a hipermétrico y perfil fronto-nasal subconvexo.
 7. El Cavall Pirinenc Català presentó valores relativamente óptimos para los Índices zootécnicos de aptitud cárnica.
 8. El Cavall Pirinenc Català presentó una gran diversidad genética y una muy escasa subestructuración poblacional, con un déficit global de heterocigotos del 4% pero no atribuible a la consanguinidad, con lo cual nos encontramos ante una población genéticamente muy uniforme.
 9. La variabilidad genética de la raza está distribuida entre las diferentes comarcas, y ninguna de ellas es, por sí sola, representativa, de forma significativa, de la variabilidad total de la población. Cada comarca constituye una parte importante de un único acervo genético. No obstante, la desaparición, teórica, de cualquiera de ellas no afectaría sustancialmente a la diversidad genética global.
 10. Los estudios comparativos, morfológicos y genéticos, de la población CPC con las otras razas cárnica españolas (Jaca Navarra, Burguete e Hispano-Bretón) la muestran como la población más diferenciada del conjunto de estas razas.
 11. Existen importantes vínculos del Cavall Pirinenc Català con algunas razas pesadas francesas, resaltando la estrecha relación que mantiene la comarca de Cerdanya con la raza bretona.
 12. El Cavall Pirinenc Català presentó una prevalencia del 4% de portadores del alelo causante de la enfermedad genética recesiva Epidermólisis Bullosa (JEB).

REFERENCIAS

7. REFERENCIAS

- **Aberle, K.S.; Hamann, H. Drögemüller, 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 (4): 270–277.
- **Afifi, A.A. & Clark, V. 1996.** *Computer-Aided Multivariate Analysis*. 3ed. Chapman & Hall, London, 455 p.
- **Ahrens, E. & Stranzinger, G. 2005.** Comparative chromosomal studies of *E. caballus* (ECA) and *E. przewalskii* (EPR) in a female F1 hybrid. *Journal of Animal Breeding and Genetics*. 122 (1): 97–102.
- **Alderson, L. 1974.** Genetic conservation and breed improvement. *The Ark*. 1: 98.
- **Alfonso, L. 1998.** Conservación y mejora genética de la población de caballos Burguete. En: *Informe de las actividades del año 1998*. Departamento de Producción Agraria, Universidad de Navarra. Pamplona.
- **Alonso de la Varga, M.E. 1999.** *Razas equinas de Castilla y León. El Caballo Hispano-Bretón*. Junta de Castilla y León. Consejería de Agricultura y Ganadería. Valladolid.
- **Anderson, T.M.; von Holt, B.M.; Candille, S.I.; Musiani, M.; Greco, C.D.; Stahler, R.; Smith, D.W.; Padhukasahasram, B.; Randi, E.; Leonard, J.A.; Bustamante, C.D.; Ostrander, E.A.; Tang, H.; Wayne, R.K. & Barsh, G.S. 2009.** Molecular and evolutionary history of melanism in North American gray wolves. *Science*. 323: 1339–1343.
- **Aparicio, J.B.; Castillo, J. & Herrera, M. 1986.** *Características Estructurales del Caballo Español, Tipo andaluz*. Publicaciones del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid.
- **Aparicio, J.B. 1994.** Clasificación del caballo de Raza Española en concursos morfológicos nacionales. *El caballo Español*. 4: 30-32.
- **Aparicio, S.G. 1944.** *Zootecnia especial: Etnología compendiada*. Editores del S.E.U. de Cordaoba. Cordoba.
- **Aparicio, S.G. 1956.** *Exterior de los grandes animales domésticos*. Morfología externa e Identificación individual. Imprenta Moderna. Córdoba.
- **Aparicio, S.G. 1960.** *Zootecnia Especial. Etnología Comprendida*. 4ª Edición. Imprenta Moderna. Córdoba.
- **Aparicio, S.G. 1974.** *Exterior de los Grandes Animales Domésticos*. Imprenta Moderna. Córdoba.
- **Aranguren-Méndez, J.A.; Jordana, J. & Gómez, M. 2001.** Genetic diversity in Spanish donkey breeds using microsatellite DNA markers. *Genetics Selection and Evolution*. 33: 433-442.
- **Aranguren-Méndez, J.A.; Jordana, J. & Gómez, M. 2002.** Genetic conservation of five endangered Spanish donkey breeds. *Journal of Animal Breeding and Genetics*. 119: 256-263.
- **Aranguren, J.A.; Bravo, R.; Isea, W.; Villasmil, Y. & Jordana, J. 2005.** Los microsatélites (STR's), marcadores moleculares de ADN por excelencia para programas de conservación: una revisión. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 13(1): 30-42.
- **Araujo, F. R.; Manicardi, F. R.; Hofig, J. R.; Magnabosco, C. U. & Famula, T. R. 2004.** The use of ultrasound to evaluate growth and carcass quality in Nelore cattle. *Journal of Animal Science*. 82, Suppl.

- **Armour, A.L.; Neuman, R.; Gobert, S. & Jeffreys, A.J. 1994.** Isolation of human simple repeat loci by hybridization selection. *Human Molecular Genetics*. 3(4): 599-605.
- **Ausubel, F.M.; Brent, R.; Kingston, R.E.; Moore, D.D.; Seidman, J.G.; Smith, J.A. & Struhl, K. 1989.** *Current Protocols in Molecular Biology*. John Wiley and Sons Inc., New York.
- **Avellanet, R. & Jordana, J. 2003.** Caracterización morfológica de la raza ovina Xisqueta por comarcas. X Jornadas sobre Producción Animal, Zaragoza. *ITEA*. Vol. Extra Núm. 24: 528-530.
- **Avise, C.J. 1994.** Molecular markers, natural history and evolution. Chapman & Hall, New York.
- **Azor, P.J.; Gómez M.D., Alonso, M.E.; Jordana, J.; Pérez de Muniaín A. & Valera, M. 2007.** Genetic characterization of endangered Spanish horse breeds for meat production: (Hispano Bretón, Jaca Navarra, Burguete and Agrupación Hiperométrica del Pirineo). 58th Annual Meeting of the European Association for Animal Production, Dublin. *Book of Abstracts of the 58th Annual Meeting of the EAAP*. pp: 313.
- **Azor, P.J.; Gómez, M.D.; Romero, F.; Jordana, J.; Alonso, M.E. & Valera, M. 2008.** Análisis de la variabilidad y relaciones filogenéticas de las razas equinas autóctonas españolas de aptitud cárnica a partir del ADN mitocondrial. XIV Reunión Nacional de Mejora Genética Animal, Sevilla. *ITEA*, 104 (2): 283-289.
- **Bagtache, B.; Hadjouis, D.; Eisenmann, V. & Piveteau, J. 1984.** Présence d'un *Equus caballus* (*E. algericus* n. sp.) et d'une autre espèce nouvelle d'*Equus* (*E. melkiensis* n. sp.) dans l'Atérien des Allobroges, Algérie. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*. 29:8609-612.
- **Bailey E.; Graves, K.T.; Cothran, E.G.; Reid, R.; Lear T.L. & Ennis, R.B. 1995.** Synteny-mapping horse microsatellite markers using a heterohybridoma panel. *Animal Genetics*. 26 (3): 177-180.
- **Baird, J.D.; Millon, L.V.; Dileanis, S.; Penedo, M.C.; Charlesworth, A.; Spirito, F. & Meneguzzi, G. 2003.** Junctional Epidermolysis Bullosa in Belgian Draft Horses. Proceedings of the 49th Annual American Association of Equine Practitioners Convention. pp: 122-125. New Orleans, LA.
- **Ballou, J.D. & Lacy, R.C. 1995.** Identifying genetically important individuals for management of genetic diversity in pedigreed populations. En: Ballou, J. D.; Gilpin, M. & Foose, T.J. (Editores.). *Population Management for Survival & Recovery. Analytical Methods and Strategies in Small Population Conservation*. Columbia University Press. pp: 76-111. New York.
- **Barker, J.S.F. 2001.** Conservation and management of genetic diversity: a domestic animal perspective. *Canadian Journal of Forest Research*. 31: 588.
- **Barón, M. 1888.** *Methodes de reproduction zootechnie*. Editions Didot. Paris.
- **Beate, D. Scherf (Editor). 1997.** Lista Mundial de Vigilancia para la Diversidad de los Animales Domésticos. (2a Edición). FAO, UNEP, Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
- **Benirschke, K.N.; Malouf, R.J.; Low & Heck, H.. 1965.** Chromosome compliment: Difference between *Equus caballus* and *Equus przewalskii* Polliakoff. *Science*. 148:382-383.
- **Bennewitz, J.; Simianer, H. & Meuwissen, T.H.E. 2007.** Investigations on Merging Breeds in Genetic Conservation Schemes. *Journal of Dairy Science*. 91:2512-2519.

- **Berbari, F. 2005.** Evolução de medidas lineares e avaliação de índices morfométricos em garanhões da raça Campolina. Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Produção Animal. Rio de Janeiro.
- **Binns, M.M.; Holmes, N.G.; Holliman, A. & Scott, A.M. 1995.** The identification of polymorphic microsatellite loci in the horse and their use in thoroughbred parentage testing. *British Veterinary Journal*. 151(1): 9-15.
- **Boettcher, P.J.; Tixier-Boichard, M.; Toro, M.; Simianer, H.; Eding, H.; Gandini, G.; Joost, S.; Garcia, J.F.; Colli, L.; Ajmone-Marsan, P. & the GLOBALDIV Consortium. 2010.** Objectives, criteria and methods for using molecular genetic data in priority setting for conservation of animal genetic resources. *Animal Genetics*. 41 (s1): 64 - 77.
- **Bomcke, E.; Gengler, N. & Cothran, E.G. 2011.** Genetic variability in the Skyros pony and its relationship with other Greek and foreign horse breeds. *Genetics and Molecular Biology*. 34 (1):68-76.
- **Botstein, D.; White, R.L.; Skolnick, M. & Davis, R.W. 1980.** Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphisms. *The American Journal of Human Genetics*. 32:314-331.
- **Bowcock, A.M.; Rulz-Linares, A.; Tomfohrde, J.; Minch, E.; Kidd, J.R. & Cavalli-Sforza, L.L. 1994.** High resolution of human evolutionary trees with polymorphic microsatellites. *Nature*. 368: 455-457.
- **Bowling, A.T.; Del Valle, A. & Bowling, M. 2000.** A pedigree-based study of mitochondrial D-loop DNA sequence variation among Arabian horses. *Animal Genetics*. 31(1):1-7.
- **Bowling, A.T. & Ruvinsky, A. 2000.** *The Genetics of the Horse*. CABI Publishing. Wallingford.
- **Breen, M.; Lindgren, G. & Binns, M.M. 1997.** Genetical and physical assignments of equine microsatellites –First integration of anchored markers in horse genome mapping. *Mammalian Genome*. 8: 267-273.
- **Caballero, A. & Toro, M.A. 2002.** Analysis of genetic diversity for the management of conserved subdivided populations. *Conservation Genetics*. 3: 289-299
- **Cabús, C. 1988.** "La Cría del Cavall Hispà-Bretó de la Cerdanya" *Revista de l'Institut Agrícola Català de Sant Isidre*. Hivern, 9-19.
- **Cano, P.; Sánchez, J. & Ballesteros, C. 2000.** V Jornadas Nacionales de Historia de la Veterinaria. pp: 97-99. Universidad Autonoma de Barcelona. Barcelona.
- **Cañón, 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.
- **Carné, S. 2005.** La Cabra Blanca de Rasquera: caracterització estructural de les explotacions i estudi morfològic de la raça. Tesina d'Investigació. Universitat Autònoma de Barcelona. Barcelona.
- **Catelli, J. L. 2004.** El caballo en Europa para producción de carne. *Veterinaria Argentina*. 21 (205): 364-368.
- **Cavalli-Sforza, L.L. & Edwards, W. F. 1967.** Phylogenetic analysis: Models and estimation procedures. *American Journal of Human Genetics*. 19: 233-257.
- **Cavalli-Sforza, L.L. 2000.** *Genes, Pueblos y Lenguas*. Editorial Crítica. Barcelona.
- **Chakraborty, R.H. & Danker-Hopfe. 1991.** Analysis of population structure: a comparative study of different estimators of Wright's fixation indices. En: Rao, C.R.

- & Chakraborty, R. (Editores). *Statistical methods in biological and medical sciences*. Elsevier Science. pp: 203–254., New York.
- **Checa, M.L. 2004.** *Análisis de la variabilidad genética en razas equinas autóctonas españolas detectada mediante microsatélites*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Madrid.
 - **Clutton-Brock, J. 1999.** *A Natural History of Domesticated Mammals*. 2nd Edition. Cambridge University Press. Cambridge.
 - **Coelho, G.; Queiroz, F.; Raquel C.; Nehme, P. C.; Batista, L.F. & Santos, E.M. 2004.** Avaliação Morfométrica de Equinos da Raça Mangalarga Marchador: Índices de Conformação e Proporções Corporais. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 33(6): 1798-1805.
 - **Corander, J.; Waldmann, P. & Sillanpää, M.J. 2003.** Bayesian analysis of genetic differentiation between populations. *Genetics*. 163: 367–374.
 - **D'Arnoldi, C.; Foulley, J.L. & Olliver, L. 1998.** An overview of the Weitzman approach to diversity. *Genetics Selection and Evolution*. 30: 149-161.
 - **Dawson, K.J. & Belkhir, K. 2001.** A Bayesian approach to the identification of panmictic populations and the assignment of individuals. *Genetic Research*. 78: 59-77.
 - **Denis, B. 1982.** A propos de la notion de race: points de vue d'un zootechnicien. *Ethnozootechnie*. 29: 61-69.
 - **Eding, H. & Laval, G. 1999.** Measuring genetic uniqueness in livestock. En: Oldenbroek, K. (Editores). *Genebanks and themanagement of farm animal genetic resources*. IDO-DLpress., pp: 33-58. The Netherlands.
 - **Eggleston-Stott, M.L.; Del Valle, A.; Bautista, M.; Dileanis, D.; Wictum, E. & Bowling, A.T. 1997.** Nine equine dinucleotide repeats at microsatellite loci UCDEQ136, UCDEQ405, UCDEQ412, UCDEQ425, UCDEQ437, UCDEQ467, UCDEQ487, UCDEQ502 and UCDEQ505. *Animal Genetics*. 28: 370-371.
 - **Eisenmann, V. & Baylac, M. 2000.** Extant and fossil *Equus* (Mammalia, Perissodactyla) skulls: a morphometric definition of the subgenus *Equus*. *Zoologica Scripta*. 29: 89-100.
 - **Ellegren, H.; Johansson, M.; Sandberg, K. & Andersson, L. 1992.** Cloning of highly polymorphic microsatellite in the horse. *Animal Genetics*. 23: 133-142
 - **El Mousadik, A. & Petit, R.J. 1996.** High level of genetic differentiation for allelic richness among populations of the argan tree [*Argania spinosa* (L.) Skeels] endemic to Morocco. *Theoretical and Applied Genetics*. 92: 832-839.
 - **Fabregas, X. 2002.** Producción, calidad y consumo de carnes equinas en España. *Eurocarne*. 110:1-5.
 - **Fanlo, T.; Artigas, N.; Espinos, & Milán, M.J. 2002.** Características de la cabaña de bovino de cría en las comarcas catalanas de montaña. *Arxius de l'Escola Superior d'Agricultura*. 6: 3-9.
 - **FAO. 1992.** Monitoring animal genetic resources and criteria for prioritization of breeds, por K. Maijala. En J. Hodges, ed. The management of global animal genetic resources. Proceedings of an FAO Expert Consultation. Roma, Italia. Abril de 1992. Animal Production and Health Paper No. 104. Roma
 - **FAO. 2007.** Global Plan of Action for Animal Genetic Resources and the Interlaken Declaration. Roma. www.fao.org.
 - **FAO. 2007.** *La situación de los recursos zoogenéticos mundiales para la alimentación y la agricultura* – resumen. Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura. pp: 43.

- **FAO. 2010.** La diversidad de los animales domésticos. www.fao.org
- **Fernández, J.; Toro, M.A. & Caballero, A. 2004.** Managing individual contributions to maximize the allelic diversity maintained in small, conserved populations. *Conservation Biology*. 18: 1358-1367.
- **Fernández, M.; Gómez, M.; Delgado, J.V.; Adán, S. & Jiménez, M. (Coordinadores). In memoriam a Fernando Orozco Piñán. 2009.** *Guía de Campo de las Razas Autóctonas Españolas*. SERGA Sociedad Española para los Recursos Animales Edita Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid. 2009.
- **Finno, C.; Spier, S & Valberg, S. 2009.** Equine diseases caused by known genetic mutations. *The Veterinary Journal*. 179(3):336-347.
- **Folch, P. 1998.** Programa de Conservació y manteniment de recursos genètics animals en la raça asinina Catalana. Tesis Doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona. Barcelona.
- **Folch, P. & Jordana, J. 1997.** Characterization, reference ranges and the influence of gender on morphological parameters of the endangered Catalanian donkey breed. *Journal of Equine Veterinary Science*. 17 (2): 102-111.
- **Forsten, A. 1987.** A comment on equid craniology. *Mammalia*. 51:455-459.
- **Frankham, R.; Ballou, J.D. & Briscoe, D.A. 2002.** Introduction to conservation genetics. Cambridge University Press. pp. 287-288. Cambridge.
- **Frame, S.R.; Harrington, D.D.; Fessler, J. & Frame, P.F. 1988.** Hereditary junctional mechanobullous disease in a foal. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 193: 1420-1424.
- **Francesch, A.; Jordana, J.; Parés, P.M. & Such, X. 2002.** Les races domèstiques autòctones de Catalunya (I). *Entre Camps i Animals*. 36: 4-10.
- **Fries, R. & Durstewitz, G. 2001.** Digital DNA signatures for animal tagging. *Nature Biotechnology*. 19(6): 508.
- **Gandini, G. & Giacomelli, P. 1997.** What economic value for local livestock breeds? 48th Animal Meeting of the EAAP. pp: 8. Vienna.
- **Gandini, G. & Oldenbroek, K. 2007.** Strategies for moving from conservation to utilisation. In Oldenbroek, K., ed.: Utilisation and conservation of farm animal genetic resources. pp. 29-54. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands.
- **García, E. 2006.** *Caracterización morfológica, hematológica y bioquímica clínica en cinco razas asnales españolas en peligro de extinción*. Tesis Doctoral. Universidad Autònoma de Barcelona, Barcelona.
- **Gelabert, J. 1951.** *La producción equina en la provincia de Gerona*. II Congreso Internacional Veterinario de Zootecnia. Vol 5, Cap. 129, Madrid.
- **GENCAT 2002.** Disponible en www.gencat.cat
- **Golstein, D.B.; Zhivotovsky, L.A.; Nayar, K.; Ruíz, L.A.; Cavalli-Sforza, L.L. & Feltman, M.W. 1996.** Statistical properties of the variation at linked microsatellite loci: implications for the history of human Y-chromosome. *Molecular Biology and Evolution* 13: 1213-1218.
- **Gómez, M.D.; Molina, A.; Gómez, M.; Cervantes, I. & Valera, M. 2008.** La conservación y mejora genética de la raza Pottoka. Libro Sobre la Raza Equina Pottoka. Asociacion de Criadores de la Raza Equina Pottoka. pp 1-38. Madrid.
- **Gómez, M.D.; Pérez de Muniaín, A.; Villanueva, M.; Asiaín, F.J.; Maeztu, F.A.; Alonso, M.E.; Jordana, J.; Valera, M. 2010.** Razas equinas en peligro de extinción: Estudio Morfológico. *Navarra Agraria*. 180: 41-48.

- **González Pizarro, J. de D. 1903.** *Elementos de Zootecnia General*. I. Tomo. Tipografía Herederos Angel González. León.
- **González, A.M. 2007.** *Caracterización de las razas bovinas berrendas en el área de Despeñaderos como base para su conservación*. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba. Córdoba.
- **Goudet, J. 1995.** Fstat Version 1.2. A computer program to calculate F-statistics. *Journal of Heredity*. 86: 485-486.
- **Graves, K.T.; Henney, P.J. & Ennis, R.B. 2008.** Partial deletion of the *LAMA3* gene is responsible for hereditary junctional epidermolysis bullosa in the American Saddlebred Horse. *Animal Genetics*. 40: 35-41.
- **Groeneveld, L.F.; Lenstra, J.A.; Eding, H.; Toro, M.A.; Scherf, B.; Pilling, D.; Negrini, R.; Finlay, E.K.; Jianlin, H.; Groeneveld, E. & Weigend, S. 2010.** Genetic diversity in farm animals; a review. *Animal Genetics*. 41: 6-31.
- **Groves, C. P. 1986.** The taxonomy, distribution and adaptations of recent equids. En: *Equids in the Ancient World*. Meadows, R. H. & Uerpmann, H.P. (Editores). pp: 11-65. New York.
- **Guerin, G.; Bertaud, M. & Amigues, Y. 1994.** Characterization of seven new horse microsatellites: *HMS1, HMS2, HMS3, HMS5, HMS6, HMS7* and *HMS8*. *Animal Genetics*. 25: 62.
- **Guo, S.W. & Thompson, E.A. 1992.** Performing the exact of Hardy-Weinberg proportions for multiple alleles. *Biometrics*. 48, 361-372.
- **Guthrie, R.D. 2003.** Rapid body size decline in Alaskan Pleistocene horses before extinction. *Nature*. 426: 169-171.
- **Guthrie, R.D. 2006.** New carbon dates link climate change with human colonization and Pleistocene extinctions. *Nature*. 441: 207-209.
- **Gutierrez, J.P.; Royo, L.J.; Álvarez, I. & Goyache, F. 2005.** Molkin v2.0: a computer program for genetic analysis of populations using molecular coancestry information. *Journal of Heredity*. 96:718-721.
- **Hanotte, O.; Toll J.; Iñiguez, L. & Rege, E. 2005.** Farm animal genetic resources: why and what do we need to conserve. En: *Proceedings of International Workshop "Options and Strategies for the Conservation of Farm Animal Genetic Resources"*. Gibson, J; Gamage, S.; Hanotte, O.; Iñiguez, L.; Maillard, J.C.; Rischkowsky, B.; Semambo, D. & Toll, J. (Editores). pp: 11-4, Montpellier.
- **Hernández, J.S.; Franco, F.J.; Herrera, M.; Rodero, E.; Sierra, A.C.; Bañuelos, A. & Delgado, J.V. 2002.** Estudio de los Recursos Genéticos de México: características morfológicas y morfoestructurales de los caprinos nativos de Puebla. *Archivos de Zootecnia*. 51 (193-194): 53-64.
- **Herrera, M. 2002.** Criterios etnozootécnicos para la definición de poblaciones animales. V Congreso de SERGA / III Congreso de SPREGA. Libro de Actas: 41-48. Madrid.
- **Hevia, M.L.; Fuentes, F.C. & Quiles, A. 1993.** Morfoestructura del caballo Pura Sangre Inglés en España. *ITEA*. 89: 39-52
- **Horcada, A.; Avilés, C. & Molina, A. 2009.** Morfología y productividad carnífera. En: *Valoración Morfológica de los Animales Domésticos*. Carlos Sañudo (Coord.). Ed. MARM. Madrid. pp: 765-803.
- **Hotelling, H. 1933.** Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *Journal of Educational Psychology*. 24: 417-441, 498-520.
- **Hurlbert, S.H. 1971.** The nonconcept of species diversity: a critique and alternative parameters. *Ecology*. 52: 577-586.

- **Infante, J. 2008.** *Caracterización Estructural de las Explotaciones Equinas de Carne del Pirineo Catalán. Caracterización Morfológica de la Raza: Caballo Pirenaico Catalán.* Tesina de Investigación. Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona
- **Irvin, Z.; Giffard, J.; Brandon, R.; Breen, M. & Bell, K. 1998.** Equine dinucleotide repeat polymorphisms at loci ASB21, 23, 25 and 37-43. *Animal Genetics*. 29: 67.
- **Jansen, T.; Forster, P.; Levine, M.A.; Oelke, H.; Hurles, M.; Renfrew, C.; Weber, J. & Olek, K. 2002.** Mitochondrial DNA and the origins of the domestic horse. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 99(16):10905-10910.
- **Janssens, S.; Stinckens, A.; Schroyen, M.; Peeters, L.; De Keyser, K.; De Wael, R.; Lamberigts, C.; Luyten, T. Ons, E. & Buys, N. 2010.** Genetic diversity in the Belgian Draught Horse breed as revealed by pedigree analysis and molecular marker data. *Animal Genetics*. 41(s2): 205–206.
- **Jarne, P. & Lagoda, J.L. 1996.** Microsatellites, from molecules to populations and back. *Trends in Evolution and Ecology*. 11(10): 424-429.
- **Jenkins J. B. 1985.** *Genética*. Swarthmore College Editorial Reverte, SA Barcelona. pp: 714. Barcelona.
- **Jones, A.G.; Small, C.M.; Paczolt, K.A. & Ratterman, N.L. 2010.** A practical guide to methods of parentage analysis. *Molecular Ecology*. 10 (1): 6-30.
- **Jordana J., Parés P.M. & Sánchez A. 1995.** Analysis of Genetic Relationships in Horse Breeds. *Journal of Equine Veterinary Science*. 15 (7): 320-328.
- **Jordana J. & Folch P. 1998.** La Raza Asnal Catalana: Programa de Conservación y Mejora de una Población en Peligro de Extinción. *Archivos de Zootecnia*. 47: 403-409.
- **Jordana J. & Parés P.M. 1999.** Relaciones genéticas entre razas ibéricas de caballos utilizando caracteres morfológicos (prototipos raciales). *Animal Genetic Resources Information*. 26: 75-94.
- **Jordana J. 2005.** Los Equidos en España. *Investigación y Ciencia*, mayo 2005: 80-81.
- **Kakoi, H.; Tozaki, T. & Gawahara, H. 2007.** Molecular analysis using mitochondrial DNA and microsatellites to infer the formation process of Japanese native horse populations. *Biochemical Genetics*. 45(3-4):375-95.
- **Kalinowski, S.T. 2005.** Do polymorphic loci require large sample sizes to estimate genetic distances? *Heredity*. 94:33-36.
- **Kavar, T.; Habe, F.; Brem, G.; Dovc, P. 1999.** Mitochondrial sequence variation among the 16 maternal lines of the horse breed. *Animal Genetics*. 30: 423-30.
- **Kavar, T.; Brem, G.; Habe, F.; Sölkner, J. & Dovc, P. 2002.** History of Lipizzan horse maternal lines as revealed by mtDNA analysis. *Genetics Selection Evolution*. 34(5): 635-48.
- **Kavar, T & Dovč, P. 2008.** Domestication of the horse: Genetic relationships between domestic and wild horses. *Livestock Science*. 116: 1-14.
- **Kim, K.I.; Yang, Y.H.; Lee, S.S.; Park, C.; Ma, R.; Bouzat, J.L. & Levin, H.A. 1999.** Phylogenetic relationships of Cheju horses to other horse breeds as determined by mtDNA D-loop sequence polymorphism. *Animal Genetics*. 30:102-108.
- **Kohn, C.W.; Johnson, G.C.; Garry, F.; Johnson, C.W.; Martin, S. & Scott, D.W. 1989.** Mechanobullous disease in two Belgian foals. *Equine Veterinary Journal*. 21: 297-301.
- **Kresse, W. 2001.** *Razas de Caballos del Mundo*. Ed. Omega SA. Barcelona
- **Kronacher, C. 1937.** *Elementos de zootecnia*. Gustavo Gili. Barcelona.

- **Kumar, S.; Tamura, K.; Jakobsen, I.B. & Nei, M. 2001.** MEGA2. Molecular Evolutionary Genetics Analysis software. Arizona State University. Temple, Arizona, USA.
- **Lai, E.; Riley, J.; Purvis, I. & Roses, A. 1998.** A 4-Mb high-density single nucleotide polymorphism-based map around human APOE. *Genomics*. 54: 31-38.
- **Langella, O. 2002.** Population 1.2.28. Logiciel de génétique des populations. Laboratoire Populations, génétique et évolution, CNRS UPR 9034, Gif-sur-Yvette, <http://www.cnrs-gif.fr/pge/>.
- **Lau, A.N.; Peng, L.; Goto, H.; Chemnick, L.; Ryder, O.A. & Makova, K.D. 2009.** Horse Domestication and Conservation Genetics of Przewalski's Horse Inferred from Sex Chromosomal and Autosomal Sequences. *Molecular Biology and Evolution*. 26: 199-208.
- **Leroy, G.; Callède, L.; Verrier, E.; Mériaux, J. C.; Ricard, A.; Danchin-Burge, C. & Rognon, X. 2009.** Genetic diversity of a large set of horse breeds raised in France assessed by microsatellite polymorphism. *Genetics Selection Evolution*. 41: 31.
- **Levine, M.A. 2005.** Domestication and early history of the horse. In: Mills, D.M. & McDonnell, S.M. (Ed.) *The Domestic Horse: the Origins, Development and Management of its Behaviour*. Cambridge University Press. pp: 5-22. Cambridge.
- **Levine, M.A. 2006.** mtDNA and horse domestication: the archaeologist's cut. En: Mashkour, M. (Editores.) *Equids in Time and Space*. Proceedings of the 9th Conference of the International Conference of Archaeozoology. Oxbow Books. pp: 192-201. Oxford.
- **Lieto, L.D.; Swerczek, T.W. & Cothran, E.G. 2002.** Equine epitheliogenesis imperfecta in two American saddlebred foals is a lamina lucida defect. *Veterinary Pathology*. 39: 576-580.
- **Lieto, L.D. & Cothran, E.G. 2003.** The epitheliogenesis imperfecta locus maps to equine chromosome 8 in American Saddlebred horses. *Cytogenetic and Genome Research*. 102: 1-4
- **Lindgren, G.; Backström, N.; Swinburne, J.; Hellborg, L.; Heinarsson, A.; Sandberg, K.; Cothran, G.; Vilà, C.; Binns, M. & Ellegren, H. 2004.** Limited number of patrilineages in horse domestication. *Nature Genetics*. 36: 335-336.
- **Lira, J.; Linderholm, A.; Olaria, C.; Brandström, D.; Durling, M.; Gilbert, M. T.; Ellegren, H.; Willerslev, E.; Lidén, K.; Arsuaga, J. L. & Götherström, A. 2010.** Ancient DNA reveals traces of Iberian Neolithic and Bronze Age lineages in modern Iberian horses. *Molecular Ecology*. 19 (1): 64-78.
- **Lister A.M.; Kadwell, M. Kaagan, L.; Jordan, W.C.; Richards, M.B. & Stanley, H.F. 1998.** Ancient and modern DNA in a study of horse domestication. *Ancient Biomolecules*. 2: 267-280.
- **Ludwig, A.; Pruvost, M.; Reissmann, M.; Benecke, N.; Brockmann, G.A.; Castaños, P.; Cieslak, M.; Lippold, S.; Llorente, L.; Malaspinas, A.S.; Slatkin, M. & Hofreiter, M. 2009.** Coat Color Variation at the Beginning of Horse Domestication. *Science*. 324: 485.
- **Luengo, J. 2001.** El caballo: una alternativa en el consumo actual de carnes. *TecnoVet*. Año 7(3). Disponible en www.tecnovet.uchile.cl
- **Luis, C.; Bastos-Silveira, C.; Cothran, E.G. & Oom, M.M. 2002.** Variation in the mitochondrial control region sequence between the two maternal lines of the Sorraia horse breed. *Genetics and Molecular Biology*. 25: 309-311.
- **Luis, C.; Bastos-Silveira, C.; Cothran, E.G. & Oom, M.M. 2006.** Iberian origins of New World horse breeds. *Journal of Heredity*. 97: 107-113.

- **MacFadden, B. J. 1992.** *Fossil Horses: Systematics, Paleobiology, and Evolution of the Family Equidae*. Cambridge University Press. pp: 369. New York.
- **Mahalanobis, P.C. 1936.** On the generalized distance in statistics. *Proceedings of the National Institute of Science of India*. 2: 49-55.
- **Mainar, R. 1995.** *Caracterización de la explotación de pequeños rumiantes de la C.A.M. e identificación de factores asociados con la seroprevalencia frente a diversas infecciones mediante encuesta y análisis multivariante*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Madrid.
- **Maretto, F. & Mantovani, R. 2009.** Genetic variability of Italian Heavy Draught Horse. *Italian Journal of Animal Science*. 8(3):95-97.
- **Markert, C.L. & Moller, F. 1959.** Multiple forms of enzymes: tissue, ontogenic and species-specific patterns. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 45: 753-763.
- **Marklund, S.; Ellegren, H.; Eriksson, S.; Sandberg, K. & Andersson, L. 1994.** Parentage testing and linkage analysis in the horse using a set of highly polymorphic microsatellites. *Animal Genetics*. 25: 19-23.
- **Marletta, D.; Tupac-Yupanqui, I.; Bordonaro, S.; García, D.; Guastella, A.; 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: 315-325.
- **MARM. 2009.** Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Disponible en www.marm.es.
- **Marshall, D.R. & Brown, A.H.D. 1975.** Optimum sampling strategies in genetic conservation. En: *Crop Genetic Resources for Today and Tomorrow*. Frankel, O.H. & Hawkes, J.G. (Ed.) Cambridge University Press. pp: 15-36. Cambridge.
- **Martínez, C.A. & Manrique, C. 2010.** Evaluación genética en bovinos de carne. *Genética Bovina Colombiana*. 16:10-16.
- **Martínez, R.D. 2008.** *Caracterización genética y morfológica del bovino criollo argentino de origen patagónico*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.
- **Milenkovic, D.; Chaffaux, S.; Taourit, S. & Guerin, G. 2003.** A mutation in the LAMC2 gene causes the Herlitz junctional epidermolysis bullosa (H-JEB) in two French draft horse breeds. *Genetics Selection Evolution*. 35: 249-256.
- **Moehlman, P.D. 2002.** *Status Survey and Conservation Action Plan*. IUCN, Gland Switzerland and Cambridge. England.
- **Moyano & Moyano, P. 1923.** *Zootecnia especial de los équidos*. Imprenta F. Borrás. Barcelona.
- **Mullis, K.B.; Faloona, F.; ScHarf, S.; Saiki, R.; Horn, G. & Erlich, H. 1986.** Specific enzymatic amplification of DNA in vitro: the polymerase chain reaction. Cold Spring. *Harbor Symposia on Quantitative Biology*. 51: 263-273
- **Nagamine, Y. & Higuchi, M. 2001.** Genetic distance and classification of domestic animals using genetics markers. *Journal of Animal Breeding and Genetics*. 118:101-109.
- **Nei, M. 1972.** Genetic distances between populations. *American Naturalist*. 106: 283-292.
- **Nei, M. 1973.** Analysis of gene diversity in subdivided populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 70: 3321-3323.
- **Nei, M. 1977.** F-statistics and analysis of gene diversity in subdivided populations. *Annals of Human Genetics*. 41: 225-233.

- **Nei, M. 1987.** Molecular Evolutionary Genetics. Columbia University Press, New York.
- **Nei, M.; Tajima, F. & Tatenno, T. 1983.** Accuracy of estimated phylogenetic trees from molecular data. *Journal of Molecular Evolution*. 19: 153-170.
- **Nei, M. & Graur, D. 1984.** Extent of protein polymorphism and the neutral mutation theory. *Evolutionary Biology*. 17: 73–118.
- **Nei, M. & Kumar, S. 2000.** *Molecular Evolution and Phylogenetics*. Oxford University Press. pp: 333. New York.
- **Oakenfull, E.A. & Ryder, O.A. 1998.** Mitochondrial control region and 12S rRNA variation in Przewalski's horse (*Equus przewalskii*). *Animal Genetics*. 29(6): 456-9.
- **Oldenbroek, J.K. 1999.** *Genebank and the conservation of farm animal genetic resources*. Oldenbroek, J.K. (Ed.). DLO Institute for Animal Science and Health. The Netherlands.
- **Ollivier, L. & Foulley, J.L. 2005.** Aggregate diversity: New approach combining within- and between-breed genetic diversity. *Livestock Production Science*. 95:247-254.
- **Olsen, S.L. 2006.** Early horse domestication on the Eurasian steppe. In: Zeder, M. A.; Bradley, D.G.; Emshwiller, E. & Smith, B. D. (Ed.) *Documenting Domestication: New Genetic and Archaeological Paradigms*. Berkeley: University of California Press. pp: 245-269. California.
- **Oom, M. M. & Costa-Ferreira, J. 1987.** Estudo biométrico do cavalo Alter (*Equus caballus* L., 1798, raça lusitana). *Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias*. 132 (482): 101-148.
- **Orlando, L.; Metcalf, J.; Alberdi, M.T.; Telles-Antunes, M.; Bonjean, D.; Otte, M; Martin, F.; Eisenmann, V.; Mashkour, M.; Morello, F.; Prado, J.L.; Salas-Gismondi, R.; Shockey, B.J.; Wrinn, P.J.; Vasil'ev, S.K.; Ovodov, N.D.; Cherry, M.I.; Hopwood, B.; Male, D.; Austin, J.J.; Hänni, C. & Cooper, A. 2009.** Revising the recent evolutionary history of equids using ancient DNA. *Proceedings of the National Academy of Sciences* . 106: 21754-21759.
- **Orozco, F. 1985.** Algunas ideas sobre el concepto de raza en animales domésticos. Publicaciones del INIA. 10: 1-16. Madrid.
- **Outram, A.K.; Stear, N. A.; Bendrey, R.; Olsen, S.; Kasparov, A.; Zaibert, V.; Thorpe, N. & Evershed, R. P. 2009.** The Earliest Horse Harnessing and Milking. *Science*. 323:1332-1335.
- **Parés, P.M. & Parés, R. 1992.** El cavall bretó cerdà de la Cerdanya. *Revista de Girona*, 153: 52-57.
- **Parés, P.M. & Vilaró, T. 1994.** *La ramaderia*. Quaderns de la Revista de Girona. Sèrie Guies-23. Dip. de Girona/Caixa de Girona, Girona.
- **Parés, P.M. & Parés, R. 1997.** Algunas características fanerópticas del caballo Bretón Ceretano.
- **Parés, P.M. 1999.** Distàncies Genètiques entre la Raça Bretona Cerdana i unes altres Races Cavallines. *Quaderns Agraris*, 24: 21-35.
- **Parés, P.M., Francesch A., Jordana J. & Such X. 2005.** *Catalans de Pèl i Ploma. – Races domèstiques autòctones de Catalunya-*. Ed. Lynx Promocions, S.L., Barcelona.
- **Parés, P.M. 2006.** Caracterització estructural de les explotacions d'oví de la raça Aranesa. Caracterització morfològica qualitativa i biomètrica. Tesina d'Investigació. Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona.

- **Parés, P.M.; Francesch, A.; Jordana, J. & Such, X. 2006.** Races autòctones, la protecció d'un patrimoni col·lectiu. *Agro-Cultura*, 25: 30-34.
- **Parés, P.M. 2009a.** Zoometría. En: *Valoración Morfológica de los Animales Domésticos*. Carlos Sañudo (Coord.). Ed. MARM. Madrid. pp: 167-198.
- **Parés, P.M. 2009b.** Morfología cefálica en el Cavall Pirinenc Català. *REDVET*. 10 (9): 1-9.
- **Park, S. D. E. 2001.** *Trypanotolerance in West African Cattle and the Population Genetic Effects of Selection*. Ph.D. thesis. University of Dublin. Dublin.
- **Parker, P.G.; Snow, A.A.; Schug, M.D.; Booton, G.C. & Fuerst, P.A. 1998.** What molecules can tell us about population: choosing and using a molecular marker. *Ecology*. 79: 361-382.
- **Pascual, I. & Intxausti, J. I. 1998.** Estudio zoométrico en la raza Poni Vasco-Pottoka. *Archivos de Zootecnia*. 47 (178-179): 537-546.
- **Peakall, R. & Smouse, P.E. 2006.** GENEALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular Ecology Notes*. 6: 288-295.
- **Pearson, K. 1901.** On lines and planes of closets fit to systems of points in the space. *Philosophical Magazine*. 2: 559-572.
- **Pearson, K. 1914.** *Tables for statisticians and biometricians*. Cambridge University Press. Cambridge.
- **Pérez, J. F. 1992.** La explotación de los équidos: presente y futuro. *Nuestra Cabaña*. Marzo 1992. pp: 42-48.
- **Pérez-Figueroa, A.; Saura, M.; Fernández, J.; Toro, M.A. & Caballero, A. 2008.** METAPOPOP—A software for the management and analysis of subdivided populations in conservation programs. *Conservation Genetics*. 10: 1097-1099.
- **Pérez-Gutiérrez, L.M.; De La Peña, A. & Arana, P. 2008.** Genetic analysis of Hispano-Breton heavy horse. *Animal Genetics*. 39:506-514.
- **Pérez de Muniaín, A. 1997.** La Jaca Navarra: Hacia la recuperación de una raza autóctona. *Navarra Agraria*. Mayo-Junio: 41-43.
- **Petit, R.J.; EL Mousadik, A. & Pons, O. 1998.** Identifying populations for conservation on the basis of genetic markers. *Conservation Biology*. 12: 844-855.
- **Plante, Y.; Vega-Pla, J.L.; Lucas, Z.; Colling, D.; de March, B. & Buchanan, F. 2007.** Genetic diversity in a feral horse population from Sable Island, Canada. *Journal of Heredity*. 98: 594-602.
- **Ponsuksili, S.; Wimmers, K.; Schmoll, F.; Horst, P. & Schellander, K. 1999.** Comparison of multilocus DNA fingerprints and microsatellites in an estimate of genetic distance in chicken. *Journal of Heredity*. 90(6): 656-659.
- **Pritchard, J.K.; Stephens, M. & Donnelly, P. 2000.** Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics*. 155: 945-959.
- **Purroy, A. 2005.** La producción de ganado de lidia y sus retos de futuro. *Revista del Instituto de Estudios Económicos*. 3: 1-11.
- **Queller, D.C.; Strassmann, J.E. & Hughes, C.R. 1993.** Microsatellites and kinship. *Trend of Ecology Evolution*. 8: 285-289.
- **Rendo, F. 2010.** *Genética poblacional y forense en razas ovinas, bovinas y equinas locales del País Vasco y Navarra*. Tesis Doctoral. Universidad del País Vasco. Leioa (Bizkaia).
- **Reynolds, J.; Weir, B. S. & Cockerham, C. C. 1983.** Estimation of the coancestry coefficient: Basis for a short-term genetic distance. *Genetics*. 105: 767-769.

- **Rodero, E. & Herrera, M. 2000.** El concepto de raza. Un enfoque epistemológico. *Archivos de Zootecnia*, 49: 5-16.
- **Rodero, E.; Herrera, M.; Molina, A.; Valera, M.; Peña, F.; Sepúlveda, N.; Fernández, C. & Luque, M. 2005.** Determinación de la situación de riesgo en las razas de animales domésticos. Aplicación a los bovinos autóctonos andaluces. *Revista científica FCV-LUZ*.
- **Rossell i Vilà, P.M. 1916.** *La ganadería de Cerdaña*. Asociación General de Ganaderos, Madrid.
- **Royo, L.J.; Álvarez, I.; Beja-Pereira, A.; Molina, A.; Fernández, I.; Jordana, J.; Gómez, E.; Gutiérrez, J.P. & Goyache, F. 2005.** The origins of Iberian horses assessed via mitochondrial DNA. *Journal of Heredity*. 96 (6): 663-669.
- **Ruane, J. 1999.** Selecting breeds for conservation. In: J.K. Oldenbroek (Ed.). *Genebanks and the Conservation of Farm Animal Genetic Resources*, DLO Institute for Animal Science and Health. pp: 59-74. Lelystad, The Netherlands.
- **Ryder, O. A.; Epel, N. C. & Benirschke, K. 1978.** Chromosome banding studies of the Equidae. *Cytogenetics and Cell Genetics*. 20: 323-350.
- **Saiki, R. K.; Gelfand, D. H.; Stoffel, S.; Scharf, S. J.; Higuchi, R.; Horn, G. R.; Mullis, K. B. & Erlich, H. A. 1988.** Primer directed amplification of DNA with a thermostable DNA polymerase. *Science*. 239: 487-491.
- **Saitou, N. & Nei, M. 1987.** The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees. *Molecular Biology and Evolution*. 4(4):406-25.
- **Sánchez-Belda, A. 2002.** Razas ganaderas españolas bovinas. FEAGAS-MAPA, Madrid.
- **Sansón, A. 1911.** *Traité de zootechnie*. Volumes III a V. Lib. Agricole de la Maison Rustique. París.
- **Sañudo, C.; Forcada, F.; Cepero, R. & Thos, J. 1986.** *Manual de diferenciación etnológica*. Librería General, SA., Zaragoza. 301 pp.
- **SAS. 1999.** SAS/STAT User's Guide, versión 6, 4ª Ed. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- **Sasaki, M.; Endo, H.; Yamagiwa, D.; Yamamoto, M.; Arishima, K. & Hayashi, Y. 1999.** Morphological character of the shoulder and leg skeleton in Przewalski's horse (*Equus przewalskii*). *Annals of Anatomy*. 181:403-407.
- **Schneider, S.; Roessli, D. & Excoffier, L. 2000.** Arlequin: a Software Package for Population Genetics. Geneva: Genetics and Biometry Laboratory, Department of Anthropology, University of Geneva.
- **Sealing, K. 2008.** They Eat Horses Don't They? *Working Paper Series*. Disponible en SSRN: <http://ssrn.com/abstract=1269513>
- **Simpson, J. 1997.** Amplified fragment length polymorphisms. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 60:73-76.
- **Sneath, P.H.A. & Sokal, R.R. 1973.** *Numerical Taxonomy*. Freeman, San Francisco.
- **Solís, A.; Jugo B.M.; Mériaux, J.C.; Iriondo, M.; Mazón, 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*. 9 (6):670-678.
- **Sotillo, J. L. & Serrano, V. 1985.** *Producción Animal*. I Etnología Zootécnica. Tebar-Flores (Ed.). Madrid.
- **Spirito, F.; Charlesworth, A.; Linder, K.; Ortonne, J.P.; Baird, J. & Meneguzzi, G., 2002.** Animal models for skin blistering conditions: absence of laminin 5 causes

- hereditary junctional mechanobullous disease in the Belgian horse. *Journal of Investigative Dermatology*. 119: 684-691.
- **Takahashi, K. & Nei, N. 2000.** Efficiencies of fast algorithms of phylogenetic inference under the criteria of maximum parsimony, minimum evolution, and maximum likelihood when a large number of sequences are used. *Molecular Biology and Evolution*. 17:1251-1258
 - **Takezaki, N. & Nei, M. 1996.** Genetic distance and construction of phylogenetic trees from microsatellite DNA. *Genetics*. 144: 389-399.
 - **Terreros, M.C.; Martínez, L.; Herrera, R.J. 2005.** Polymorphic Alu insertions and genetic diversity among African populations. *Human Biology*. 77, 675-704.
 - **Toro, M. A.; Fernández, J. & Caballero, A. 2009.** Molecular characterization of breeds and its use in conservation. *Livestock Science*. 120: 174-195.
 - **Turiera, J. 1913.** *L'Agriculture en Cerdagne*. Thèse Agricole.
 - **Torres, E.; Querol, J. & Bosch, E. 1983.** *La raza Hispano-Bretona en la Cerdanya*. 34 Reunión Anual de la Federación Europea de Zootécnica, Madrid.
 - **Turton, J.D. 1974.** The collection storage and dissemination of information on breeds of livestock. En: *Proceedings 1st World Congress on Genetic and Applied Livestock Production*. Vol II: 61-74. Madrid.
 - **University Of Washington. 2003.** "Bones From French Cave Show Neanderthals, Cro-Magnon Hunted Same Prey." *ScienceDaily*, 23 Sep. 2003.
 - **Valadez, E. & Kahl, G. 2000.** Huellas de ADN en genomas de plantas. Universidad Autónoma Chapingo. México.
 - **Valera, M.; Alcalde, M. J.; Horcada, A.; Alonso, M.; Dorado, G.; Fernández, J.; Martínez, J.; Peña, F.; Rodero, A. & Toro, M.A. 2008.** Evaluación de los Recursos Genéticos Equinos de Aptitud Cárnica en Peligro de Extinción: Caracterización, Desarrollo de Estrategias que Minimicen el Parentesco y la Erosión Genética y Diseño y Creación de un Banco de Germoplasma. Memoria del Informe Final del Proyecto de Investigación I.N.I.A. RZ2004-00023.
 - **Valera, M.; Gómez, M.D.; Cervantes, I. & Peña, F. 2009a.** Morfología y funcionalidad en los équidos. En: *Valoración Morfológica de los Animales Domésticos*. Carlos Sañudo (Coord.). Ed. MARM. Madrid. pp: 725-728.
 - **Valera, M.; Pérez de Muniaín, A.; Asiain F.J. & Maeztu, F.A. 2009b.** Razas equinas en peligro de extinción. *Navarra Agraria*. 179: 62-64.
 - **Vega-Pla, J.L.; Martínez, A.M.; Peinado, B.; Poto, A. & Delgado, J.V. 2001.** Técnicas moleculares en el apoyo a la conservación del cerdo Chato Murciano. II Simposium Iberoamericano sobre Conservación de Recursos Genéticos y Desarrollo Rural Sustentable. Santa Ana de Coro. Estado de Falcón. Venezuela. Diciembre de 2001.
 - **Vilà, C.; Leonard, J.A.; Gotherstrom, A.; Marklund, S.; Sandberg, K.; Liden, K.; Wayne, R.K. & Ellegren, H. 2001.** Widespread origins of domestic horse lineages. *Science*. 291(5503):474-477.
 - **Wallner, B.; Brem, G.; Müller, M. & Achmann, R. 2003.** Fixed nucleotide differences on the Y chromosome indicate clear divergence between *Equus przewalskii* and *Equus caballus*. *Animal Genetics*. 34(6):453-456.
 - **Wallner, B.; Piumi, F.; Brem, G.; Müller, M. & Achmann, R. 2004.** Isolation of Y chromosome-specific microsatellites in the horse and cross-species amplification in the genus *Equus*. *Journal of Heredity*. 95(2):158-164.
 - **Ward, T.J.; Skow, L.C.; Gallagher, D.S.; Schnabel, R.D.; Nall, C.A.; Kolenda, C. E.; Davis, S.K.; Taylor, J.F. & Derr, J.N. 2001.** Differential introgression of

- uniparentally inherited markers in bison populations with hybrid ancestries. *Animal Genetics*. 32(2): 89.
- **Weir, B.S. & Cockerham, C. C. 1984.** Estimating F-statistics for the analysis of population structure. *Evolution*. 38: 1358-1370.
 - **Weir, B.S. 1990.** *Genetic data analysis*. Methods for discrete population genetic data. Sinauer Associates, INC. Publishers. pp: 377. Sunderland, Massachusetts.
 - **Weir, B.S. 1996.** *Genetic data analysis II. Methods for discrete population genetic data*. Sinauer Associates, INC. Publishers, Sunderland, Massachusetts.
 - **Weitzman, M. L. 1992.** On diversity. *The Quarterly Journal of Economics*. 107: 363-405.
 - **Weitzman, M. L. 1993.** What to preserve? An application of diversity theory to crane conservation. *The Quarterly Journal of Economics*. 108: 157-183.
 - **Williams, J.G.K.; Kubelik, A.R.; Livak, K.J.; Rafalski, J.A. & Tingey, S.V. 1990.** DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucleic Acids Research*. 18: 6531-6535.
 - **Wright, S. 1939.** The distribution of self-sterility alleles in populations. *Genetics*. 24: 538-552.
 - **Wright, S. 1969.** *Evolution and the Genetics of Populations, Vol. II. The Theory of Gene Frequencies*. University of Chicago Press, Chicago.
 - **Xu, X. & Árnason, U. 1994.** The complete mitochondrial DNA sequence of the horse, *Equus caballus*: extensive heteroplasmy of the control region. *Genetics*. 148: 357-362.
 - **Yanes, J.E. & Yanes, T. 2007.** Situación y perspectivas de la raza Hispano-Bretona en Castilla y León. *Archivos de Zootecnia*. 56(1): 793-794.
 - **Yanes, J.E. 2009.** La Raza Equina Hispano-Bretón. En: *Guía de Campo de las Razas Autóctonas Españolas*. Ed. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. pp: 471-473. Madrid.
 - **Yang, F.; Fu, B.; O'Brian P.C.M.; Robinson, T.J.; Ryder, O.A. & Ferguson-Smith, M.A. 2003.** Karyotypic relationships of horses and zebras: results of cross-species chromosome painting. *Cytogenetic Genome Research*. 102:235-243.

8. ANEXOS

Anexo 1. Prototipo racial del CPC.

Prototipo racial

Artículo 1

Para poder ser inscrito en el Libro genealógico, los ejemplares de la raza equina Caballo pirenaico catalán deberán poseer los caracteres siguientes:

1.1 Aspecto general: los individuos son de plástica sublongilínea, formato subhipermétrico a hipermétrico y perfil fronto-nasal subcirtoide (subconvexo). La alzada a la cruz oscila entre 1,45 y 1,60 metros, dependiendo del sexo, y es una raza semipesada a pesada. La apariencia es proporcionada y equilibrada, y resulta, en su conjunto, muy armónico con aspecto de fortaleza y agilidad. El dimorfismo sexual es marcado, con un acusado predominio del tercio anterior en los machos. De temperamento tranquilo, son sin embargo vivaces, ardientes y vigorosos. Son animales muy rústicos, longevos y sobrios, con una gran facilidad de parto y notables aptitudes maternas para la cría. Su principal orientación productiva, criados en régimen extensivo, es hacia la producción y posterior venta de potros, de seis a ocho meses de edad.

1.2 Cabeza: de tamaño medio a grande, en relación con la masa corporal. Perfil craneal ortoide (recto) y fronto-nasal subcirtoide (subconvexo), de ancha nariz, nuca ancha y recta. Orejas móviles de tamaño medio con puntas redondeadas y borde externo moderadamente arqueado. La frente es cuadrada y corta. Arcadas orbitarias destacadas lateralmente sin sobresalir del perfil de la cabeza. Ojos de tamaño medio y almendrados. Cara muy expresiva y relativamente larga. Mejillas musculadas, con borde en arco abierto. Hocico cuadrado y profundo, con nariz ancha y redondeada. Frecuente presencia de caninos en las hembras. Labios carnosos y comisura labial media a corta. Se admite la presencia de bigote en los ejemplares más viejos, fruto de su adaptación al pastizal de alimentos lignificados.

1.3 Cuello: recio, grande, robusto y musculado. De longitud media a corta, con profundas inserciones en cabeza y tronco. Bien implantado. Crin abundante y borde ligeramente arqueado en machos y con tendencia a la rectitud en hembras. Borde traqueal recto.

1.4 Tronco: ancho y profundo, con costillares anchos y arqueados. Cruz redondeada y escasamente destacada. Dorso y lomo, anchos y musculados. Línea dorso-lumbar recta y ascendente hacia la región lumbar. Grupa de buen tamaño y desarrollo muscular, partida o “doble”, cuadrada (de similar anchura y longitud) y sensiblemente caída (inclinación superior a 35°). Región lumbar destacada y ancas bajas. Cola de nacimiento medio y encajonada entre ísquiones. Pecho redondeado, ancho y musculado. Vientre voluminoso, no recogido y con ijares cortos.

1.5 Extremidades: fuertes, enjutas, robustas y bien conformadas, aunque suelen ser relativamente finas con relación a la masa que deben soportar. Excelentes cascos de buen desarrollo, pero armónicos en relación a la masa corporal. Pelos del menudillo (“sedas”) de escaso desarrollo en ambas extremidades, no sobrepasan el tercio inferior de las cañas, y de aspecto basto y poco ondulado.

Las extremidades anteriores son ligeramente alargadas y de buen desarrollo óseo. Espalda de longitud media y poco inclinada; brazo de longitud media y con

tendencia a la horizontal. Antebrazo potente y relativamente largo, rodilla ancha, caña corta y ancha, menudillo desarrollado, cuartillas bien dirigidas y cascos bien desarrollados, y siempre en armonía con el formato general del animal. Espejuelos (o “castañas”) desarrollados.

Las extremidades posteriores son proporcionadas y de buen desarrollo óseo. Muslos musculados y nalgas redondeadas, piernas de longitud media, corvejones fuertes y desarrollados. Espejuelos discretos, pero existentes.

1.6 Piel y pelo: piel elástica. Manchas de carne inexistentes o muy discretas. Pelo fino y corto a excepción del situado en cañas y menudillos; más largo y apretado durante el invierno. Crin larga y abundante. No se debe admitir la amputación total o parcial de la cola.

1.7 Capa: los pelajes básicos son: el alazán, el castaño y el negro, y en menor medida el overo y el bayo, en sus diferentes tonalidades. Los pelajes ruanos y tordos también son admitidos, pero no priorizados. No se admiten los pelajes manchados y los derivados del gen crem. La presencia de manchas blancas en la cabeza, tronco y/o extremidades será siempre discreta.

1.8 Características penalizables:

Cualquier desviación clara de las características enumeradas en este prototipo racial que provoquen un alejamiento del animal a la fidelidad racial, como por ejemplo:

- a) Desviaciones de los perfiles según lo que establece el estándar.
- b) Proporciones alargadas, animales “cerca” o alejados “del suelo”.
- c) Alzada a la cruz en yeguas entre 1,42 y 1,45 m.
- d) Cuello fino e invertido. Labios caídos. Orejas finas y/o cortas.
- e) Grupos horizontales o excesivamente caídas.
- f) Pecho estrecho, costillares de escaso desarrollo, cruz prominente y tronco ensillado.
- g) Escaso desarrollo muscular general o regional.
- h) Pelajes ruanos y tordos.
- i) Fisuras en casco. Cascos blancos. Cerrado de corvejones.
- j) Amputación total o parcial de la cola.
- k) Manchas de carne extensas.
- l) Presencia en exceso de manchas blancas en la cabeza y/o tronco, y calzados por encima del tercio inferior de la caña; además, nunca en las cuatro extremidades.
- m) Cola de nacimiento alta y/o en trompa.
- n) Defectos de conformación y simetría de los genitales, tanto en machos como en hembras.

1.9 Características descalificables:

- a) En general, defectos leves muy acusados, y con un especial énfasis en los de trascendencia morfofuncional.
- b) Perfil fronto-nasal celoide (cóncavo).
- c) Alzada a la cruz: inferior a 1,41 m en las hembras y 1,45 m en los machos.
- d) Deficiente desarrollo óseo.
- e) Pelajes píos y los derivados del gen crem.
- f) Conformación general o regional defectuosa en exceso. Grupa excesivamente estrecha.
- g) Adiposis cervical superior (sea cuello vencido o no).
- h) Anomalías y malformaciones hereditarias y/o congénitas.

Anexo 2. Diario Oficial de la Generalitat de Catalunya (DOGC) Núm. 5122-30.4.2008.**ORDEN**

AAR/184/2008, de 24 de abril, por la que se crea el Libro genealógico de la raza equina Caballo pirenaico catalán, y se aprueba su reglamentación específica y su estándar racial.

La raza Caballo pirenaico catalán tiene gran valor zootécnico por su rusticidad, la elevada precocidad sexual, la buena fertilidad, la gran facilidad de parto y las notables aptitudes maternales.

En los últimos años se han llevado a cabo acciones de mejora sobre esta población a efecto de conservar, potenciar y mejorar la raza.

De acuerdo con el artículo 116.1.a) del Estatuto de autonomía de Cataluña, corresponde a la Generalidad la competencia exclusiva en materia de agricultura y ganadería que incluye, en todo caso, la regulación y el desarrollo de la agricultura, la ganadería y el sector agroalimentario.

Por lo tanto, corresponde a la Generalidad la creación del libro genealógico de las razas autóctonas catalanas, la aprobación de la reglamentación específica y su estándar racial, así como el reconocimiento oficial de las organizaciones y asociaciones de criadores que tengan su ámbito territorial en Cataluña.

En tanto no se desarrolle el mencionado artículo 116 del Estatuto y a efectos de esta Orden, es de aplicación el Real decreto 662/2007, de 25 de mayo, sobre selección y reproducción de ganado equino de razas puras.

Con la finalidad de coordinar las acciones de mejora y mantenimiento y establecer un efectivo de ganado selecto que mantenga el patrimonio genético es necesario establecer el prototipo de la raza y crear el Libro genealógico de la raza Caballo pirenaico catalán.

Esta Orden ha sido sometida al trámite de audiencia de los miembros de la Comisión sectorial del caballo, mediante la Oficina de relaciones sectoriales, y a las asociaciones que crían esta raza de El Pallars Sobirà, La Cerdanya, L'Alt Urgell, Era Val d'Aran, El Pallars Jussà, L'Alta Ribagorça y El Ripollès, y la mayor parte de las alegaciones recibidas han sido recogidas.

En consecuencia, a propuesta de la Dirección General de Agricultura y Ganadería, y en uso de las atribuciones que me han sido conferidas,

ORDENO:

Artículo 1*Creación y objetivos*

1.1 Se crea el Libro genealógico de la raza Caballo pirenaico catalán y se aprueba la reglamentación específica y su estándar racial, que constan, respectivamente, en los anexos 1 y 2 de esta Orden.

1.2 La creación del Libro genealógico tiene los objetivos de permitir el control técnico de la raza y de disponer de los datos que permitan desarrollar un programa de mejora para la conservación, la selección y la evaluación genética de los animales de la raza, mediante el control de rendimientos, con el fin de destinarlos a la reproducción.

Artículo 2*Contenido*

Se podrán inscribir en el Libro genealógico los animales de la raza Caballo pirenaico catalán que cumplen el estándar racial que figura en el anexo 2 de esta Orden.

Artículo 3

Reconocimiento oficial de las asociaciones de criadores

3.1 El Libro genealógico de la raza Caballo pirenaico catalán lo llevarán las asociaciones de criadores del Caballo pirenaico catalán, que tengan por objeto colaborar con el mantenimiento y la promoción de esta raza y que hayan sido reconocidas oficialmente por el director o la directora General de Agricultura y Ganadería para gestionar el Libro.

3.2 A fin de que una asociación sea reconocida oficialmente es necesario que cumpla los requisitos establecidos en el artículo 5.2 del Real decreto 662/2007, de 25 de mayo, sobre selección y reproducción de ganado equino de razas puras.

3.3 Las asociaciones interesadas en obtener el reconocimiento oficial para gestionar el Libro genealógico presentarán a la Dirección General de Agricultura y Ganadería, en un plazo de un mes a partir de la entrada en vigor de esta Orden, una solicitud en la adjuntarán:

- a) Fotocopia del NIF de quien solicita y NIF del/de la representante legal.
- b) Documentación acreditativa de la personalidad jurídica de la asociación solicitante. Debe aportarse el certificado actualizado de la inscripción en el Registro de entidades, asociaciones, fundaciones y colegios profesionales.
- c) Fotocopia del acto por el que se toma la decisión de solicitar el reconocimiento y se asumen los derechos y las obligaciones derivadas de la gestión del Libro genealógico.
- d) La documentación que justifique el cumplimiento de lo que establece el artículo 5 del Real decreto 662/2007, de 25 de mayo.

3.4 El reconocimiento oficial de las asociaciones de criadores de la raza equina Caballo pirenaico catalán corresponde a la persona titular de la Dirección General de Agricultura y Ganadería, mediante resolución, que les será notificada y se publicará en el *Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya*.

3.5 El plazo para resolver es de tres meses, contado desde la fecha de entrada de la solicitud. Transcurrido el mencionado plazo sin recibir la resolución correspondiente, la solicitud de reconocimiento se entenderá estimada y la asociación reconocida oficialmente, a menos que no cumpla los requisitos esenciales que establece el mencionado artículo 5.2 del Real decreto 662/2007, según dispone el artículo 62.1.f) de la Ley 30/1992, de 26 de noviembre, de régimen jurídico de las administraciones públicas y del procedimiento administrativo común.

3.6 De acuerdo con el que establece el artículo 2.2 de la Decisión 90/254/CEE, de la Comisión, de 10 de mayo de 1990 (DON L 145 de 8/6/1990), se podrá denegar el reconocimiento oficial a una organización o asociación de ganaderos si constituye una amenaza para la conservación de la raza o compromete el programa zootécnico de una asociación u organización ya reconocida.

3.7 Contra las resoluciones denegatorias del reconocimiento oficial de las asociaciones de criadores se puede interponer recurso de alzada ante el consejero o la consejera de Agricultura, Alimentación y Acción Rural, en el plazo de un mes y de acuerdo con la regulación establecida en los artículos 114 y 115 de la mencionada Ley 30/1992, de 26 de noviembre.

Artículo 4

Gestión del Libro genealógico

4.1 El reconocimiento oficial de las asociaciones de criadores habilita para la gestión del Libro genealógico.

4.2 No obstante lo que prevé el apartado anterior, por razones de interés público debidamente valoradas, la gestión del Libro genealógico de la raza equina Caballo pirenaico catalán se podrá atribuir a una única asociación que haya sido reconocida oficialmente, de acuerdo con lo que dispone el artículo 3 de esta Orden.

4.3 En el supuesto previsto en el apartado anterior, la resolución de reconocimiento oficial y de otorgamiento de la gestión del Libro valorará las razones de interés público que justifican el mencionado otorgamiento y lo fundamentará con respeto a los principios de no discriminación y libre concurrencia. Se otorgará la

gestión a la asociación de criadores reconocida oficialmente que mejor se adecue al cumplimiento de los objetivos que tiene el Libro genealógico, establecidos en el artículo 1 de esta Orden, y al efecto se valorará su grado de representatividad e implantación, la imparcialidad para el ejercicio de las funciones y la capacidad y los medios de qué dispone.

Artículo 5

Revocación de la gestión del Libro genealógico

5.1 En el caso de que la o las asociaciones a las que se les ha otorgado la gestión del Libro genealógico de la raza Caballo pirenaico catalán incumplan alguna de las obligaciones inherentes a la gestión del Libro, la persona titular de la Dirección General de Agricultura y Ganadería, con audiencia previa de la o las asociaciones, podrá revocar el otorgamiento de la gestión del mencionado Libro. Contra la resolución de revocación se podrá interponer recurso de alzada ante el consejero o la consejera de Agricultura, Alimentación y Acción Rural.

5.2 En caso de revocación, si la gestión del Libro había sido atribuida a una única asociación, de acuerdo con lo que prevé el artículo 4.2, se otorgará a otra asociación reconocida oficialmente. En el caso de que no exista ninguna otra, la gestión será asumida por la Dirección General de Agricultura y Ganadería.

Artículo 6

Inspección y control

Las funciones de inspección y control de la gestión del Libro genealógico las ejercerá el Servicio de Producción Ganadera de la Dirección General de Agricultura y Ganadería.

Artículo 7

Comisión de inscripción en el Libro genealógico

7.1 Las asociaciones de criadores reconocidas oficialmente dispondrán de una Comisión de inscripción al Libro genealógico que estará formada por los miembros siguientes:

Presidente o presidenta: el presidente o la presidenta de la asociación gestora del Libro genealógico de la raza o persona en quien delegue.

Inspector director técnico o inspectora directora técnica: nombrado/a por el director o la directora general de Agricultura y Ganadería, a propuesta del presidente o la presidenta de la Comisión.

Vocales:

Una persona técnica responsable del programa de conservación y mejora.

Tres personas representantes de la asociación de criadores de la raza Caballo pirenaico catalán, una de las cuales será la persona técnica responsable del programa de conservación y mejora aprobado por la Dirección General de Agricultura y Ganadería, otra que debe pertenecer a la comarca donde está ubicada la explotación del animal valorado, y la tercera será designada por la asociación.

7.2 La Comisión actuará como órgano colegiado, y adoptará los acuerdos por mayoría. El voto del presidente o presidenta será de calidad. El funcionamiento de la Comisión se ajustará a lo que establezcan los estatutos de la asociación y de forma supletoria será de aplicación lo que establece el capítulo 6 de la Ley 13/1989, de 14 de diciembre, de organización, procedimiento y régimen jurídico de la administración de la Generalidad.

7.3 Corresponden a la Comisión de inscripción las tareas siguientes:

a) Estudiar y aprobar, si procede, las solicitudes de inscripción de los animales a los registros del Libro genealógico.

b) Resolver las reclamaciones de las personas propietarias con respecto a la calificación de sus ejemplares.

c) Proponer a la asociación las actuaciones y los programas a llevar a cabo para la conservación, la mejora y la difusión de la raza.

d) Informar sobre las sanciones que propongan la o las asociaciones gestoras del Libro genealógico a la Dirección General de Agricultura y Ganadería que resolverá sobre las mismas.

e) Las que se relacionan en los anexos de esta Orden y las que le encargue la persona titular de la Dirección General de Agricultura y Ganadería.

7.4 En el supuesto previsto en el artículo 4.2 de esta Orden, sólo tendrá Comisión de inscripción la asociación gestora del Libro.

Artículo 8

Recursos

Contra las resoluciones de la Comisión de inscripción se puede interponer recurso de alzada ante el director o la directora general de Agricultura y Ganadería en el plazo de un mes contado a partir del día siguiente de la notificación de la resolución, sin perjuicio de que se pueda interponer cualquier otro admitido en derecho.

DISPOSICIÓN TRANSITORIA

En la primera sesión de la Comisión de inscripción prevista en el artículo 7 de esta Orden, la persona inspectora directora técnica será nombrada por la persona titular de la Dirección General de Agricultura y Ganadería.

DISPOSICIÓN FINAL

Esta Orden entrará en vigor el día siguiente al de su publicación en el DOGC.

Barcelona, 24 de abril de 2008

JOAQUIM LLENA I CORTINA

Consejero de Agricultura, Alimentación y Acción Rural

ANEXO 1

Reglamentación del Libro genealógico de la raza Caballo pirenaico catalán

CAPÍTULO 1

Estructura del Libro genealógico

Artículo 1

El Libro genealógico de la raza Caballo pirenaico catalán constará de los registros siguientes:

Registro fundacional (RF).

Registro auxiliar (RA).

Registro de nacimientos (RN).

Registro definitivo (RD).

Registro de méritos (RM).

Artículo 2

2.1 La inscripción de un animal en el registro correspondiente deberá solicitarla la persona propietaria a la asociación gestora del Libro, con la presentación de los impresos al efecto cumplimentados y con la aportación de los datos del nacimiento.

2.2 No se inscribirán en ningún registro los ejemplares que presenten taras o defectos morfológicos que desaconsejen su utilización como reproductores/as o que exhiban falta de fidelidad racial.

2.3 La calificación, la identificación y la propuesta o no de inscripción de los animales será tarea del personal técnico expresamente designado por la asociación gestora del Libro genealógico.

2.4 Para una mayor garantía de la identificación e inscripción de ejemplares en los registros de este Libro genealógico, el inspector o la inspectora de la raza podrá averiguar y realizar las diligencias que crea oportunas, y podrá recurrir, asimismo, a la verificación del parentesco mediante las pruebas pertinentes.

2.5 Corresponde a la asociación gestora la expedición de la documentación genealógica que deberá incluir, además de las condiciones generales establecidas para la identificación de los équidos, todos los distintivos de identificación referidos al animal en cuestión y que deben corresponderse con los que exhiba el individuo mismo.

2.6 Se establecen, con carácter oficial, las pruebas de paternidad.

Artículo 3

3.1 Registro fundacional (RF): este Registro representa el fundamento y principio selectivo de la raza, por consiguiente debe acoger a los animales reproductores (machos y hembras) que, respondiendo al prototipo racial que se establece en el anexo 2, reúnan los requisitos siguientes:

Tener al menos dos años de edad tanto los machos como las hembras.

Calificación morfológica con una puntuación mínima de 50 puntos (de un máximo de 100 puntos), según baremo oficial, tanto machos como hembras, y que no presenten defectos excluyentes.

Que su inscripción se solicite de manera expresa a la asociación gestora de este Libro genealógico.

3.2 Este Registro tendrá una vigencia de dos años contado a partir de la publicación de esta Orden. Esta vigencia puede ser prorrogada, a petición de la Comisión de inscripción, por resolución del director o la directora general de Agricultura y Ganadería.

Artículo 4

4.1 Registro auxiliar (RA): este Registro quedará inactivo mientras esté en vigor el Registro fundacional (RF). Se inscribirán las hembras reproductoras que, faltas totalmente o parcialmente de antecedentes genealógicos reconocidos por este Libro genealógico, posean los caracteres morfológicos propios de la raza y cumplan los requisitos siguientes:

a) Tener una edad no inferior a los tres años.

b) Tener una calificación morfológica mínima de 50 puntos.

4.2 Dentro de este Registro se establecen dos categorías:

a) Auxiliar A (RAA): accederán a este registro las hembras sin documentación genealógica de las que se acredite la ascendencia; y siempre que se haya solicitado su inscripción formalmente a la asociación gestora del Libro genealógico. Los animales que superen estos condicionantes se identificarán en el momento de la calificación según el método aprobado a tal efecto.

b) Auxiliar B (RAB): se inscribirán las hembras hijas de madre que pertenezca al Registro auxiliar A (RAA), y padre inscrito en el Registro fundacional (RF), o en el definitivo (RD), o en el de méritos (RM), que en su momento obtengan la puntuación morfológica exigida para las hembras del RAA.

Artículo 5

5.1 Registro de nacimientos (RN): en este Registro se incluirán las crías de ambos sexos, nacidas de progenitores que pertenezcan a cualquier Registro con excepción del RAA; es decir: RF, RD, RAB o RM, siempre que:

a) La persona propietaria presente, en un plazo máximo de seis meses desde el nacimiento, la solicitud correspondiente y aporte los datos de nacimiento necesarios. No obstante, se podrá solicitar la inscripción fuera de este plazo siempre que se reúnan el resto de requisitos de este apartado, y se verifique la filiación compatible del producto.

- b) Los animales carezcan de defectos determinantes de descalificación.
- c) Estén debidamente identificados tal como se describe en el artículo 8 de este anexo 1.
- d) Sobre los animales declarados de cada persona propietaria se verificará aleatoriamente la filiación mediante marcadores genéticos, siguiendo los criterios internacionales reconocidos. En caso de no concordancia, la persona propietaria de los animales deberá acreditar mediante marcadores genéticos la filiación de todos los animales.

5.2 Las crías inscritas permanecerán en este Registro hasta su traslado al RD, siempre que cumplan los requisitos establecidos en el artículo 6 de este anexo 1.

Artículo 6

6.1 Registro definitivo: en este Registro podrán inscribirse los animales que proceden del Registro de nacimientos cuando cumplan la edad de tres años, con los requisitos siguientes:

- a) Haber obtenido una calificación morfológica mínima de 60 puntos las hembras y 65 puntos los machos, sobre un máximo de 100 puntos.
- b) No presentar taras o defectos que les impidan una función reproductiva normal.

6.2 Serán dados de baja de este Registro los individuos que la Comisión de inscripción de la raza compruebe que son portadores de caracteres hereditarios anómalos, que hagan aconsejable la eliminación del programa.

Artículo 7

Registro de méritos: se inscribirán en este Registro, a petición de la asociación gestora del Libro genealógico y acordado por la Comisión de inscripción, los animales reproductores sobresalientes de la raza, que pertenezcan al Registro fundacional o definitivo y destaquen por sus características morfológicas, productivas y genealógicas. Este registro constará de dos secciones:

- a) Sección hembras: accederán a esta sección los reproductores que hayan alcanzado los niveles selectivos siguientes:

75 o más puntos en su calificación morfológica, sobre un máximo de 100 puntos.

75 o más puntos en su calificación de aptitud cárnica, sobre un máximo de 100 puntos, tal como se especifica en el artículo 3 del anexo 2.

A partir del tercer año de vigencia del Libro, tener al menos tres descendientes inscritos en el Registro definitivo, en tres años consecutivos, con al menos 60 puntos, sobre un máximo de 100 puntos. Estas hembras obtendrán el título de “madres de futuro semental”.

- b) Sección machos: destinada a los machos que alcancen los méritos siguientes:

80 puntos o más en su calificación morfológica, sobre un máximo de 100 puntos.

80 puntos o más en su calificación de aptitud cárnica, sobre un máximo de 100 puntos.

Ser hijo de una madre de futuro semental y de padre de Registro fundacional, definitivo o de méritos.

Tener inscritos diez descendientes en el Registro definitivo.

Estos machos recibirán el título de “macho calificado”. Aquéllos que, además, se hayan sometido a pruebas de valoración genética, según esquema de selección aprobado al efecto, y obtengan resultados positivos, recibirán el título de “reproductor probado”.

CAPÍTULO 2

Identificación y registro de los animales

Artículo 8

8.1 Los animales que se inscriban en el Libro genealógico deberán estar identificados con reseña, la cual se complementará con la implantación de un sistema electrónico de identificación adecuado a la normativa UNE-ISO 11784 y UNE-ISO 11785, aceptado por el Departamento de Agricultura, Alimentación y Acción Rural, y se hará toma de muestras de los machos destinados a reproducción para la realización de los análisis de los marcadores genéticos.

8.2 El acceso a los datos del Libro genealógico son libres, excepto los datos identificativos de personas que estén afectadas para la Ley orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, sobre protección de datos de carácter personal.

Anexo 3. Protocolo de la FAO para la conservación de poblaciones en peligro de extinción.

Esquema expuesto en el protocolo de la FAO (1992), para la conservación de poblaciones en peligro de extinción

Fase I: Descripción general de la población

a) Recopilación de datos preliminares de interés general.

- Localización geográfica de las poblaciones.
- Origen filogenético.
- Evolución censal y situación actual.
- Posibles causas de regresión racial y tendencia futura.
- Perspectivas futuras de la raza y razones válidas para la conservación (estudios socioeconómicos que resalten su importancia económica en la zona).
- Características raciales, productivas, reproductivas, ecológicas, etc., de interés.

b) Inventario censal, registro e identificación individual electrónica.

Fase II: Caracterización racial.

- a) Caracterización morfológica: cualitativa y biométrica. Con ello se pretende crear, reglamentar y gestionar el libro genealógico de la raza.
- b) Caracterización hematológica y bioquímica clínica.
- c) Caracterización genética: polimorfismos bioquímicos y marcadores moleculares (microsatélites) y citogenética: Esta caracterización permite entre otras cosas:
 - 1. Analizar los niveles de variabilidad genética de las poblaciones.
 - 2. Obtener valores medios de consanguinidad.

3. Identificar genéticamente los individuos y realizar pruebas de control de paternidades.
 4. Identificar los individuos más heterocigotos para la programación de apareamientos.
- d) Caracterización de la estructura genealógica y demográfica: mediante los análisis de pedigrí cuando estén disponibles. Ello permitirá estudiar:
1. Parámetros demográficos tales como la edad al primer parto, vida útil, varianza familiar o intervalos entre generaciones, entre otros.
 2. Cálculo de los coeficientes de la consanguinidad (F) y el parentesco (r) para así poder programar los mejores apareamientos.
 3. Evolución de la consanguinidad por generación y/o anual.
 4. Probabilidad de origen de los genes, para calcular el Índice de Conservación Genética (GCI), siendo éste de gran utilidad para conocer el efecto de los ancestros fundadores para el mantenimiento de la variabilidad.

Fase III: Programa de conservación genética *in situ*

El objetivo prioritario en esta fase, es la conservación y mantenimiento de animales vivos con la máxima diversidad genética y con el mínimo incremento de consanguinidad posible por generación. Los criterios a seguir son los siguientes:

- a) Aumentar el tamaño poblacional, y en particular, maximizar el número efectivo de reproductores (N_e).
- b) Maximizar la influencia de animales fundadores (mediante GCI).
- c) Minimizar las pérdidas de heterocigosidad debidas a distintos factores (consanguinidad, selección, deriva, etc), llevando a cabo para ello un programa de consanguinidad mínima programando los apareamientos a partir de la información de los coeficientes de parentesco (r) y/o de los individuos más heterocigotos de la población (información procedente de los marcadores moleculares).

Las ventajas de una conservación *in situ* son: permite justificar mejor el plan de conservación; no requiere de una tecnología avanzada; permite que la raza no caiga en el olvido del público; permite la observación permanente de los animales; podemos usar los animales mientras tanto, para disminuir los costes económicos.

Las desventajas son las siguientes: se necesita un lugar, un espacio para los animales; es difícil que los cambios genéticos sean eliminados en su totalidad; el coste de mantenimiento puede ser elevado; normalmente se suelen tener poblaciones pequeñas con la desventaja de que ΔF se eleva; los costos de mantenimiento pueden depender de los cambios políticos.

Fase IV: Programa de conservación genética *ex situ*.

Esta fase se llevaría a cabo cuando los medios técnicos y económicos y la infraestructura del programa lo permitan. Se realizara mediante.

- a) Conservación *ex situ* de animales vivos (granjas-parque)
- b) Conservación criogénica de germoplasma:
 - a. Almacenamiento de semen
 - b. Almacenamiento de óvulos
 - c. Almacenamiento de embriones
- c) Almacenamiento de DNA

Las ventajas: los costos de mantenimiento son bajos una vez se ha hecho la recolección; la variabilidad genética se mantiene constante.

Las desventajas: es necesario un alto desarrollo técnico; en algunas especies, la técnica de crioconservación no está del todo a punto; el muestreo de los individuos es complicado porque quizá no escojamos los mejores; posibles catástrofes que puedan echar a perder el material; errores humanos.

Así pues, vemos que tanto la conservación *in situ* como *ex situ* tienen ventajas e inconvenientes por lo que se aconseja una combinación de ambas.

Fase V: Programa de Mejora Genética.

Esta fase se llevaría a término cuando la población estuviera fuera de peligro y el incremento de consanguinidad no representara ningún problema grave. El objetivo de selección sería intentar mejorar genéticamente algún carácter de interés económico de la población. Los criterios de selección se decidirían en su momento pero provendrían de la información recogida de los caracteres morfológicos, de comportamiento y/o

productivos. Las evaluaciones se realizarían a partir de toda la información disponible (índices de selección, BLUP, selección asistida por marcadores (MAS), etc.).

Anexo 4. Formato de encuesta realizada a los criadores del CPC.

ENQUESTA EXPLOTACIÓ Agrupació Hipermètrica Pirinenca																																			
Nº ENQUESTA:	DATA:																																		
1. DADES DEL TITULAR I EXPLOTACIÓ																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">NOM:</td> <td style="width: 50%;">EDAT:</td> </tr> <tr> <td>Nº FILLS: <18 ☐ 18-25 ☐ 25-40 ☐ >40 ☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ACTIVITAT PRINCIPAL:</td> <td>TELÈFON:</td> </tr> <tr> <td colspan="2">DOMICILI:</td> </tr> <tr> <td>LOCALITAT:</td> <td>PROVÍNCIA:</td> </tr> <tr> <td colspan="2"> ANYS D'EXPLOTACIÓ: ☐ <5 ☐ 5-10 ☐ 15-25 ☐ Tradició Familiar. </td> </tr> <tr> <td colspan="2"> POSSIBLE CONTINUITAT FAMILIAR: ☐ NO ☐ NO HO SAP ☐ SI </td> </tr> <tr> <td colspan="2"> LA SEVA FAMÍLIA L'AJUDA EN EL MANEIG DEL RAMAT? ☐ SI ☐ NO </td> </tr> <tr> <td colspan="2"> QUI CONTINUARÀ MANEJANT L'EXPLOTACIÓ? ☐ FILL ☐ ALTRES </td> </tr> <tr> <td colspan="2"> VISITES A L'EXPLOTACIÓ: ☐ Diàries ☐ Regularment ☐ Esporàdiques ☐ Hi viu. </td> </tr> <tr> <td colspan="2"> PERTANY A L'ASSOCIACIÓ DE CRIADORS? ☐ SI ☐ NO </td> </tr> <tr> <td colspan="2"> INTERESSAT EN FORMAR PART D'UNA ASSOCIACIÓ? ☐ SI ☐ NO </td> </tr> <tr> <td colspan="2"> COL·LABORÀ PRENDRE MESURES I MOSTRES SANG? ☐ SI ☐ NO </td> </tr> <tr> <td colspan="2">RACES EQUINES EXPLOTADES:</td> </tr> <tr> <td colspan="2">PER QUÈ EXPLOTA CAVALLS DE CARN?</td> </tr> <tr> <td colspan="2">PER QUÈ EXPLOTA AQUESTA RAÇA?</td> </tr> <tr> <td colspan="2"> CREU QUE AQUESTA RAÇA ÉS IDÒNIA PER LA ZONA? ☐ SI ☐ NO PER QUÈ? </td> </tr> </table>		NOM:	EDAT:	Nº FILLS: <18 ☐ 18-25 ☐ 25-40 ☐ >40 ☐		ACTIVITAT PRINCIPAL:	TELÈFON:	DOMICILI:		LOCALITAT:	PROVÍNCIA:	ANYS D'EXPLOTACIÓ: ☐ <5 ☐ 5-10 ☐ 15-25 ☐ Tradició Familiar.		POSSIBLE CONTINUITAT FAMILIAR: ☐ NO ☐ NO HO SAP ☐ SI		LA SEVA FAMÍLIA L'AJUDA EN EL MANEIG DEL RAMAT? ☐ SI ☐ NO		QUI CONTINUARÀ MANEJANT L'EXPLOTACIÓ? ☐ FILL ☐ ALTRES		VISITES A L'EXPLOTACIÓ: ☐ Diàries ☐ Regularment ☐ Esporàdiques ☐ Hi viu.		PERTANY A L'ASSOCIACIÓ DE CRIADORS? ☐ SI ☐ NO		INTERESSAT EN FORMAR PART D'UNA ASSOCIACIÓ? ☐ SI ☐ NO		COL·LABORÀ PRENDRE MESURES I MOSTRES SANG? ☐ SI ☐ NO		RACES EQUINES EXPLOTADES:		PER QUÈ EXPLOTA CAVALLS DE CARN?		PER QUÈ EXPLOTA AQUESTA RAÇA?		CREU QUE AQUESTA RAÇA ÉS IDÒNIA PER LA ZONA? ☐ SI ☐ NO PER QUÈ?	
NOM:	EDAT:																																		
Nº FILLS: <18 ☐ 18-25 ☐ 25-40 ☐ >40 ☐																																			
ACTIVITAT PRINCIPAL:	TELÈFON:																																		
DOMICILI:																																			
LOCALITAT:	PROVÍNCIA:																																		
ANYS D'EXPLOTACIÓ: ☐ <5 ☐ 5-10 ☐ 15-25 ☐ Tradició Familiar.																																			
POSSIBLE CONTINUITAT FAMILIAR: ☐ NO ☐ NO HO SAP ☐ SI																																			
LA SEVA FAMÍLIA L'AJUDA EN EL MANEIG DEL RAMAT? ☐ SI ☐ NO																																			
QUI CONTINUARÀ MANEJANT L'EXPLOTACIÓ? ☐ FILL ☐ ALTRES																																			
VISITES A L'EXPLOTACIÓ: ☐ Diàries ☐ Regularment ☐ Esporàdiques ☐ Hi viu.																																			
PERTANY A L'ASSOCIACIÓ DE CRIADORS? ☐ SI ☐ NO																																			
INTERESSAT EN FORMAR PART D'UNA ASSOCIACIÓ? ☐ SI ☐ NO																																			
COL·LABORÀ PRENDRE MESURES I MOSTRES SANG? ☐ SI ☐ NO																																			
RACES EQUINES EXPLOTADES:																																			
PER QUÈ EXPLOTA CAVALLS DE CARN?																																			
PER QUÈ EXPLOTA AQUESTA RAÇA?																																			
CREU QUE AQUESTA RAÇA ÉS IDÒNIA PER LA ZONA? ☐ SI ☐ NO PER QUÈ?																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>NOM DE L'EXPLOTACIÓ:</td> </tr> <tr> <td>RÈGIM DE PROPIETAT:</td> </tr> <tr> <td>LOCALITZACIÓ:</td> </tr> <tr> <td>SUPERFÍCIE (Hectàrees):</td> </tr> <tr> <td> APROFITAMENT PRINCIPAL: ☐ BESTIAR ☐ CULTIU ☐ ALTRES (QUINS?) </td> </tr> </table>		NOM DE L'EXPLOTACIÓ:	RÈGIM DE PROPIETAT:	LOCALITZACIÓ:	SUPERFÍCIE (Hectàrees):	APROFITAMENT PRINCIPAL: ☐ BESTIAR ☐ CULTIU ☐ ALTRES (QUINS?)																													
NOM DE L'EXPLOTACIÓ:																																			
RÈGIM DE PROPIETAT:																																			
LOCALITZACIÓ:																																			
SUPERFÍCIE (Hectàrees):																																			
APROFITAMENT PRINCIPAL: ☐ BESTIAR ☐ CULTIU ☐ ALTRES (QUINS?)																																			
<u>OBSERVACIONS:</u>																																			

ELS CAVALLS ESTAN:	☐ LLIURES A LA MUNTANYA TOT L'ANY
	☐ TOT L'ANY A L'EXPLOTACIÓ
	☐ UNS MESOS A CADA LLOC

*** EXPLOTACIÓ:**

TÉ TANCATS? ☐ SI, N° DE TANCATS: _____	
TIPUS DE TANCATS: _____	
☐ NO	
HI HA PUNTS D'AIGUA A TOTS ELS TANCATS? ☐ NO ☐ SI, N° : _____	
HI HA MENJADORES? ☐ SI, N°: _____ TIPUS: _____	
☐ NO	
HI HA FONTS ENERGÈTIQUES? ☐ NO ☐ GRUP ELECTRÒGEN	
☐ XARXA ELÈCTRICA ☐ SOLAR ☐ ALTRES, QUINA ?	
INSTAL·LACIONS RAMADERES:	
BESTIAR	☐ ESTABLE COBERT _____ m ²
	☐ MÀNEGA MANEIG _____
	☐ "POTRO" DE CONTENCIÓ _____
GENERAL	☐ CORRALS MANEIG
	☐ EMBARCADOR
	☐ ALTRES: _____
BESTIAR	☐ FEMER
	☐ BÀSCULA FIXA
	☐ MAGATZEM DE PINSO I GRA
GENERAL	☐ PALLER
	☐ BÀSCULA MÒBIL
	☐ ALTRES, QUINS?
ÚLTIMES MILLORES REALITZADES (any): _____	
PREVISTA MILLORA INSTAL·LACIONS? ☐ SI, QUINA? _____ ☐ NO	

*** MUNTANYA:**

HI HA COBERTS? ☐ SI, QUANTS m ² ? _____	☐ NO
HI HA ABASTAMENT D'AIGUA? ☐ SI, QUIN TIPUS? _____	☐ NO
HI HA TANQUES? ☐ SI ☐ NO	

OBSERVACIONS:

--

2. DADES HISTÒRIQUES, HUMANES I GENERALS

* HISTÒRIQUES:

QUANT TEMPS FA QUE EXPLOTA AQUESTA RAÇA?	
CENS ACTUAL EN RELACIÓ ALTRES ANYS:	
☐ IGUAL	☐ MAJOR ☐ MENOR
RAONS D'AUGMENT O DISMINUCIÓ:	
☐ MANEIG	☐ COMERCIALITZACIÓ ☐ RENDIBILITAT
ALTRES ESPÈCIES EXPLOTADES: ☐ NO ☐ SI	
☐ VAQUES DE LLET. RACES:	_____
☐ VAQUES DE CARN. RACES:	_____
☐ OVÍ LLET. RACES:	_____
☐ OVÍ CARN. RACES:	_____
☐ CABRES DE LLET. RACES:	_____
☐ CABRES DE CARN. RACES:	_____
☐ PORCÍ. RACES:	_____
☐ ALTRES: _____	RACES: _____
ALTRES RACES EQUINES EXPLOTADES ANTERIORMENT?:	
ACCÉS A L'EXPLOTACIÓ: ☐ BO ☐ ACCEPTABLE ☐ DOLENT	
NUCLI POBLAT MÉS PROPER:	Km:
FIRA DE BESTIAR MÉS PROPERA:	Km:
ESCORXADOR DE CAVALLS MÉS PROPER:	Km:

OBSERVACIONS:

*** HUMANES:**

Nº DE TREBALLADORS FIXES A L'EXPLOTACIÓ: _____ ☐ CAP		
EDAT	ANTIGUITAT	PROCEDÈNCIA

Nº DE TREBALLADORS EVENTUALS A L'EXPLOTACIÓ: _____ ☐ CAP		
ACTIVITAT	ÈPOCA DE L'ANY	PROCEDÈNCIA

GESTIÓ ADMINISTRATIVA: ☐ CRIADOR ☐ GESTOR ☐ ENCARREGAT ☐ FAMILIAR O AMIC ☐ ALTRES, QUIN?		
--	--	--

FREQUÈNCIA DE VISITES DEL VETERINARI / ANY: MOTIUS PRINCIPALS?

OBSERVACIONS:

--

3. MANEIG DEL BESTIAR:

* EXPLOTACIÓ:

REGISTRE DEL BESTIAR:	☐ CAP TIPUS DE REGISTRE
	☐ LLIBRE D'EXPLOTACIÓ
	☐ ANOTA LA GENEALOGIA, DES DE QUAN?:
SISTEMA IDENTIFICACIÓ:	☐ CROTAL ☐ OSQUES ☐ FERRO
	☐ MICROXIP ☐ ALTRES, QUINA?
ANIMALS QUE AJUDEN A GUARDAR I MANEJAR EL BESTIAR:	☐ NO ☐ SI
FASE PRODUCCIÓ:	☐ CICLE COMPLET ☐ CRIA ☐ RECRIA ☐ ENGREIX
ELS CAVALLS ESTAN TOT EL DIA A L'AIRE LLIURE?	☐ SI ☐ NO, QUANTES HORES?
MANEIG PASTURES:	☐ ROTACIÓ PASTURES ☐ PASTOREIG RACIONAT
	☐ PASTOREIG CONTINU
PROBLEMES DEL MEDI:	
CONTAMINACIÓ DE:	☐ AIGUA ☐ SÒL ☐ AIRE
ACUMULACIÓ EXCESSIVA DE FEMS:	☐ SI ☐ NO
SOBRE-PASTOREIG:	☐ SI ☐ NO
INFRA-PASTOREIG:	☐ SI ☐ NO
EROSIÓ:	☐ SI ☐ NO
ALTRES	☐ QUIN?

* MUNTANYA:

PUJADA A PORT: DATA PUJADA A PORT: _____
DURADA PUJADA A PORT: _____ COM? _____
DURADA ESTADA A PORT: _____
DATA BAIXADA A EXPLOTACIÓ: _____
PORT / LOCALITAT: _____
COMARCA: _____
COTA MÀXIMA (metres): _____
NOMBRE D'ANIMALS A PORT: _____ PROPIS: _____ TOTALS: _____
BARREJA DE RAMATS: ☐ SI ☐ NO
ANIMALS EXTRAVIATS: ☐ SI, NOMBRE: _____ ☐ NO
INTERACCIÓ AMB ANIMALS SILVESTRES: ☐ NO ☐ SI, QUINA? _____
PROBLEMES DERIVATS: _____

OBSERVACIONS

--

4. ESTRUCTURA I MIDA DEL RAMAT:

CLASSE D'ANIMAL	RAÇA / ENCREUAMENT	Nº DE CAPS
FEMELLES VENTRE		
FEMELLES VENTRE		
FEMELLES VENTRE		
SEMENTALS		
SEMENTALS		
SEMENTALS		
POLTRES ♂ DE < 1 ANY		
POLTRES ♂ DE < 1 ANY		
POLTRES ♂ DE < 1 ANY		
POLTRES ♂ D'1 ANY		
POLTRES ♂ D'1 ANY		
POLTRES ♂ D'1 ANY		
POLTRES ♀ DE < 1 ANY		
POLTRES ♀ DE < 1 ANY		
POLTRES ♀ DE < 1 ANY		
POLTRES ♀ D'1 ANY		
POLTRES ♀ D'1 ANY		
POLTRES ♀ D'1 ANY		

PRETÉN VARIAR Nº REPRODUCT.: ☐NO ☐AUGMENTAR ☐DISMINUIR

OBSERVACIONS:

5. PLA DE CRIA I REPRODUCCIÓ:

COBRICIÓ: ☐ MUNTA NATURAL	
☐ CONTROLADA ☐ LLIURE	
☐ INSEMINACIÓ ARTIFICIAL	
QUI? _____	
Nº SERVEIS / CONCEPCIÓ _____	
PROCEDÈNCIA DEL SEMEN _____	
MASCLE COBREIX TOT L'ANY: ☐ SI ☐ NO, QUINS MESOS: _____	
SEPARACIÓ DE FEMELLES EN LOTS: ☐ NO ☐ SI, Nº ♀s/ ♂: _____	
REPOSICIÓ ANUAL DE FEMELLES DE LA RAÇA: _____	
REPOSICIÓ ANUAL DE MASCLES DE LA RAÇA: _____	
ESTARIA DISPOSAT A?:	
CANVIAR A PROGRAMA DE REPRODUCCIÓ MÉS ADEQUAT	☐ SI ☐ NO
REALITZAR PESADES AL NAIXEMENT	☐ SI ☐ NO
REALITZAR PESADES AL DESLLETAMENT	☐ SI ☐ NO
QUÈ BUSCA EN LA REPOSICIÓ D'EUGUES?	
QUÈ BUSCA EN LA REPOSICIÓ DE SEMENTALS?	
QUI REALITZA LA SELECCIÓ?	
PORTA ♂ DE FORA DE L'EXPLOTACIÓ? ☐ SI, FREQUÈNCIA: _____	
☐ NO	
PORTA ♀ DE FORA DE L'EXPLOTACIÓ? ☐ SI, FREQUÈNCIA: _____	
☐ NO	
Nº DE FEMELLES QUE COBREIX ANUALMENT: _____	
Nº POLTRES NASCUTS ANUALMENT: _____	
Nº POLTRES MORTS, PER ANY, DESPRÉS DEL NAIXEMENT: _____	
CAUSES MÉS FREQUENTS: _____	
EDAT A LA 1ª COBRICIÓ: ♀: _____	♂: _____
INTERVAL ENTRE PARTS: _____	
EDAT DE PAS A REPOSICIÓ: ♀: _____	♂: _____
DESCARTA FEMELLA SI NO PAREIX ALS _____ ANYS	
CAUSES MÉS FREQUENTS: _____	
COBRIMENT AMB ALTRES RACES? ☐ NO ☐ SI QUINES? _____	
MANTÉ ELS ANIMALS NASCUTS D'AQUESTS ENCREUAMENTS? ☐ SI ☐ NO	

OBSERVACIONS:

--

6. DADES DE PRODUCCIÓ:

REP ALGUNA AJUDA ECONÒMICA: ☐ SI, QUINA? ☐ NO	
DESLLLETAMENT: EDAT	PES:
ÚS DE: ☐ LLET ARTIFICIAL ☐ PINSO D'ARRENCADA	
VENDA AL: ☐ DESLLLETAMENT ☐ SACRIFICI	
VENDA PER: ☐ CAPS DE BESTIAR. PREU APROX. PER CAP: _____	
☐ Kg. PES VIU. PREU: _____	
☐ Kg. PES CANAL. PREU: _____	
☐ ALTRES: _____	PREU: _____
VENDA A: ☐ COOPERATIVA ☐ CARNISSER ☐ TRACTANT ☐ INDÚSTRIA	
EDAT A LA QUE ES PORTEN A L'ESCORXADOR: _____	
PES VIU AL SACRIFICI: _____ Kg.	
PES CANAL: _____ Kg.	
RENDIMENT: _____ %	

7. PLA D'ALIMENTACIÓ:

PERÍODE EN QUE EL BESTIAR APROFITA L'EXPLOTACIÓ:												
	S	O	N	D	G	F	Mç	Ab	Mg	Jn	Jl	Ag
Pastures de primavera												
Rostolls												
Sotobosc (muntanya baixa)												
Tancat amb suplementació												
Prats artificials												
Altres												
PROCEDÈNCIA DE L'AIGUA:												
SISTEMA D'EMMAGATZEMAMENT D'AIGUA:												
PASTOREIG EN: ☐ CRIA ☐ RECRÍA ☐ ENGREIX												
SUPLEMENTACIÓ:												
PRODUCTE	REPRODUCTORS	CRIA	RECRÍA	ENGREIX								
TIPUS DE FARRATGE UTILITZAT: _____												
QUANTITAT ANUAL APROX. PER A TOTS ELS ANIMALS: _____												
HORA I LLOC DE SUBMINISTRAMENT D'ALIMENT: _____												

8. HISTORIAL I MANEIG SANITARI:

MALALTIES MÉS FREQUENTS:	
CRIA: _____	
RECRIA I ADULTS: _____	
Nº DESPARASITACIONS INTERNES ANY PASSAT:	PRODUCTE: _____
Nº VACUNES ANY PASSAT: _____ CONTRA: _____	
MEDICAMENTS QUE ES DISPOSA NORMALMENT A L'EXPLOTACIÓ:	
☐ DESINFECTANTS	☐ ANTIPARASITARIS ☐ ANTIBIÒTICS
☐ ANTIINFLAMATORIS	☐ ALTRES: _____
PERTANY A ADS ☐ NO ☐ SI, NOM: _____	
ADREÇA: _____	
VETERINARI: _____	
TELÈFON DE CONTACTE: _____	
REALITZA DESINFECCIÓ I NETEJA DE LES INSTAL·LACIONS:	
☐ NO	☐ SI, AMB QUINA FREQUÈNCIA?: _____

OBSERVACIONS:

Nota: ADS – Agrupació de Defensa Sanitària

9. DADES DE L'ENQUESTADOR:

COGNOMS:
NOM:

SIGNATURA:

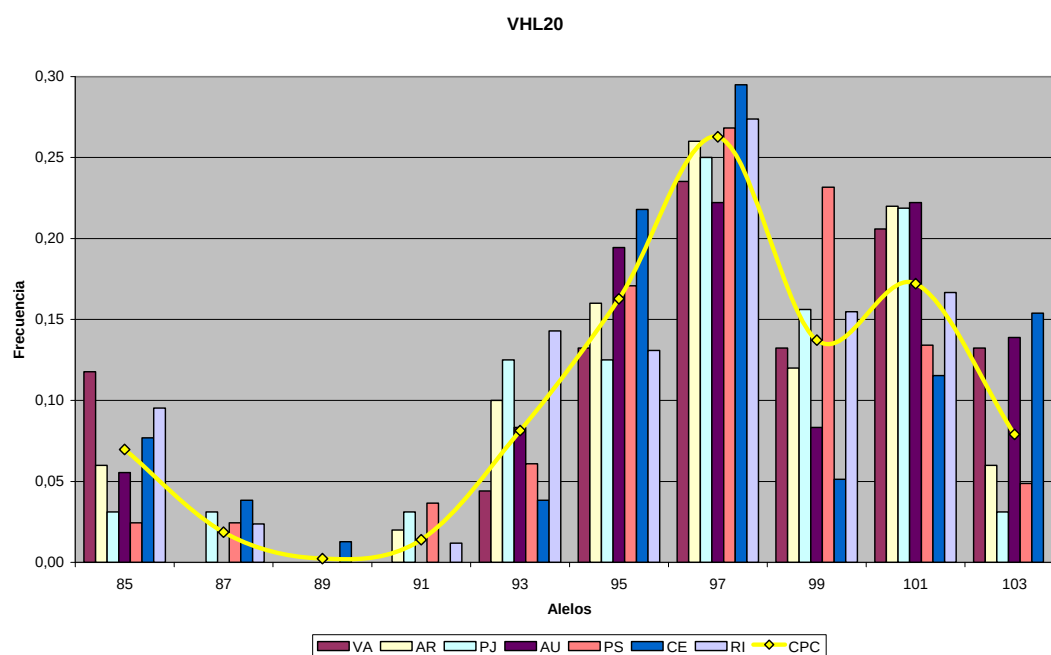
Anexo 5. Frecuencias alélicas para los 16 marcadores utilizados.

Figura 22. Histograma con las frecuencias alélicas del microsatélite VHL20 por comarca (barras) y diagrama con la distribución de la frecuencia alélica para la raza CPC (línea amarilla). VA: Val d'Aran; AR: Alta Ribagorça; PJ: Pallars Jussà; AU: Alt Urgell; PS: Pallars Sobirà; CE: Cerdanya; RI: Ripollès; CPC: Cavall Pirinenc Català.

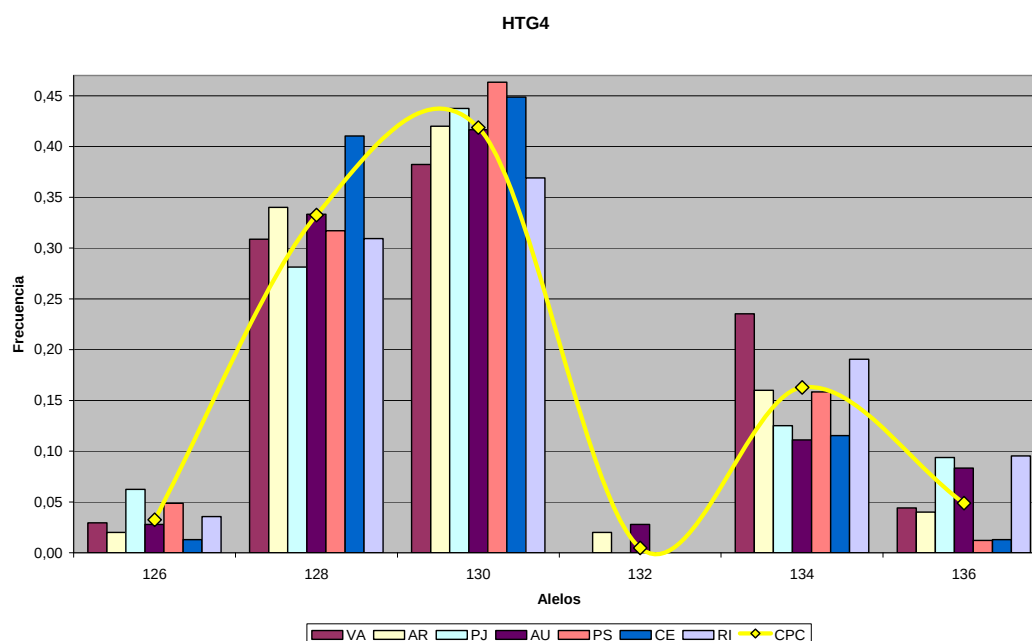


Figura 23. Histograma con las frecuencias alélicas del microsatélite HTG4 por comarca (barras) y diagrama con la distribución de la frecuencia alélica para la raza CPC (línea amarilla). VA: Val d'Aran; AR: Alta Ribagorça; PJ: Pallars Jussà; AU: Alt Urgell; PS: Pallars Sobirà; CE: Cerdanya; RI: Ripollès; CPC: Cavall Pirinenc Català.

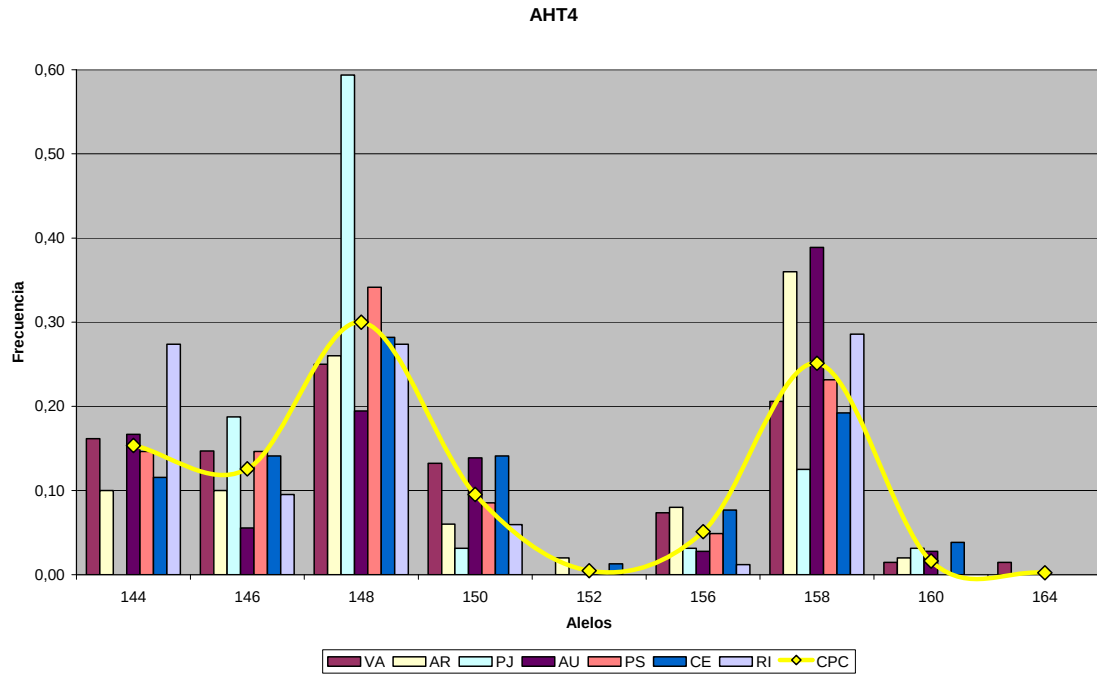


Figura 24. Histograma con las frecuencias alélicas del microsatélite AHT4 por comarca (barras) y diagrama con la distribución de la frecuencia alélica para la raza CPC (línea amarilla). VA: Val d'Aran; AR: Alta Ribagorça; PJ: Pallars Jussà; AU: Alt Urgell; PS: Pallars Sobirà; CE: Cerdanya; RI: Ripollès; CPC: Cavall Pirinenc Català.

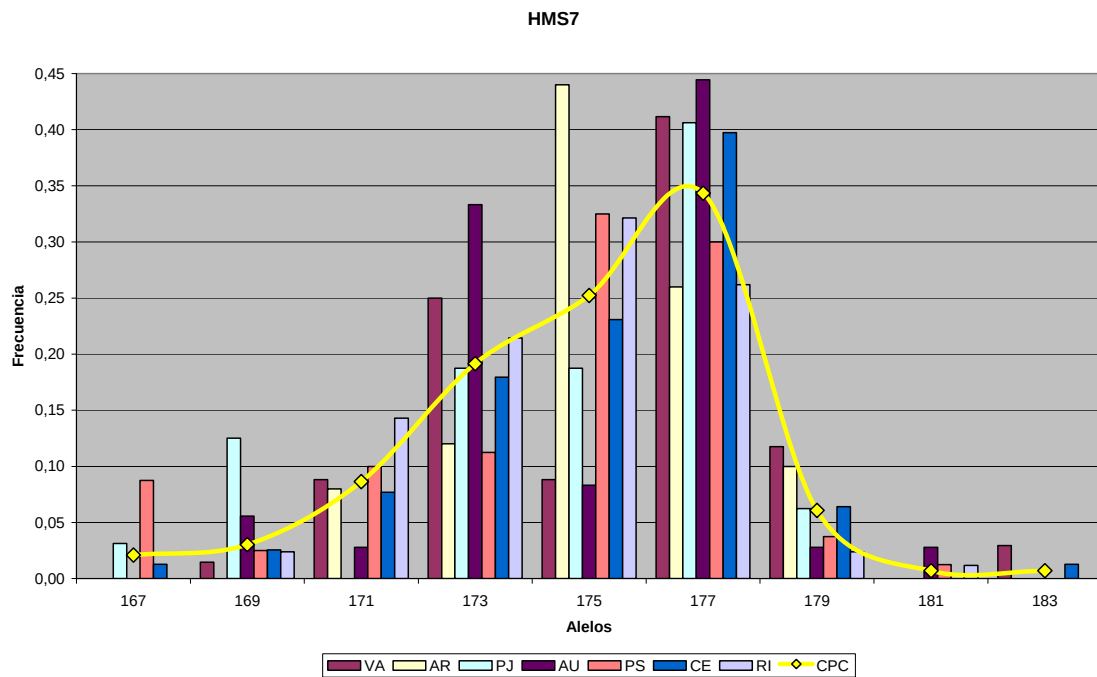


Figura 25. Histograma con las frecuencias alélicas del microsatélite HMS7 por comarca (barras) y diagrama con la distribución de la frecuencia alélica para la raza CPC (línea amarilla). VA: Val d'Aran; AR: Alta Ribagorça; PJ: Pallars Jussà; AU: Alt Urgell; PS: Pallars Sobirà; CE: Cerdanya; RI: Ripollès; CPC: Cavall Pirinenc Català.

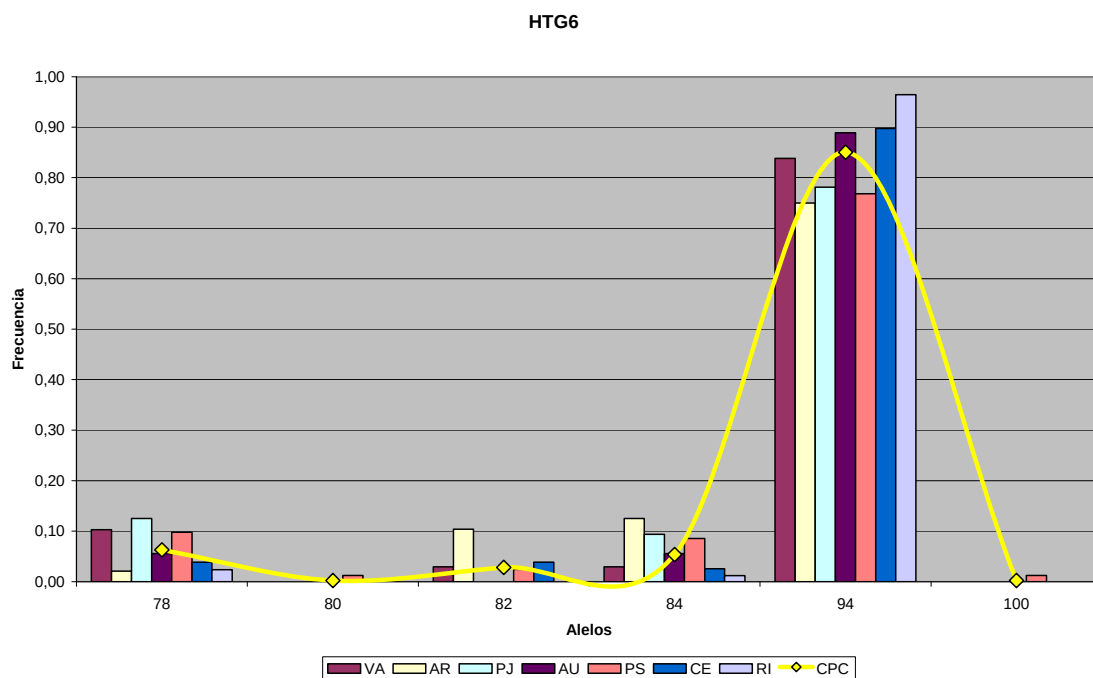


Figura 26. Histograma con las frecuencias alélicas del microsatélite HTG6 por comarca (barras) y diagrama con la distribución de la frecuencia alélica para la raza CPC (línea amarilla). VA: Val d'Aran; AR: Alta Ribagorça; PJ: Pallars Jussà; AU: Alt Urgell; PS: Pallars Sobirà; CE: Cerdanya; RI: Ripollès; CPC: Cavall Pirinenc Català.

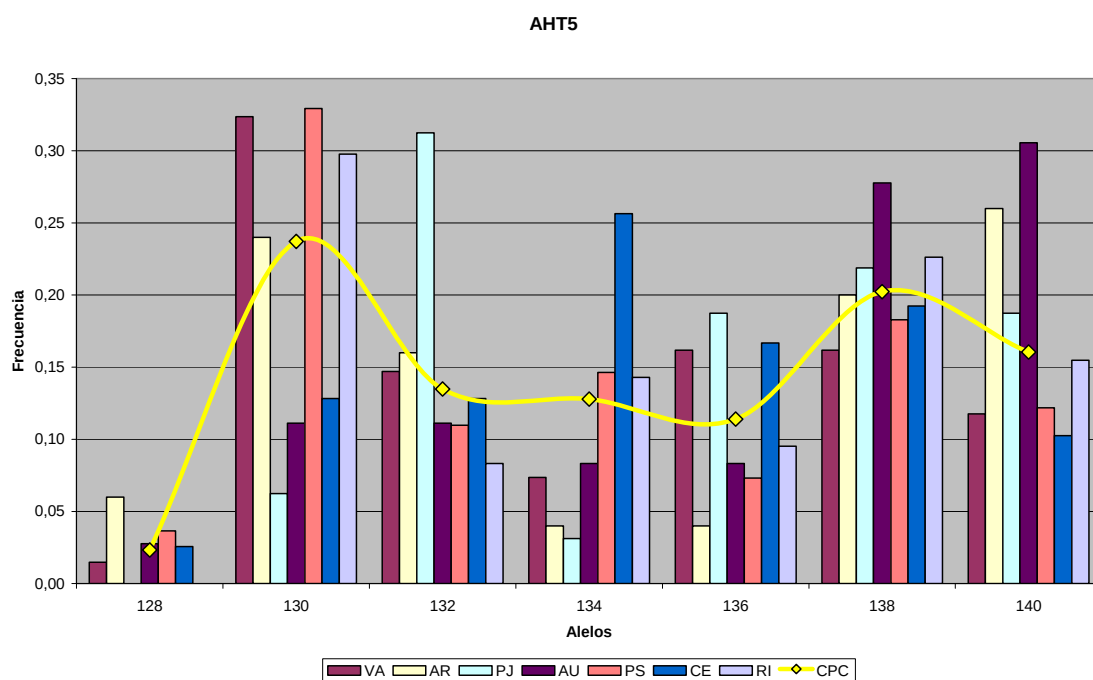


Figura 27. Histograma con las frecuencias alélicas del microsatélite AHT5 por comarca (barras) y diagrama con la distribución de la frecuencia alélica para la raza CPC (línea amarilla). VA: Val d'Aran; AR: Alta Ribagorça; PJ: Pallars Jussà; AU: Alt Urgell; PS: Pallars Sobirà; CE: Cerdanya; RI: Ripollès; CPC: Cavall Pirinenc Català.

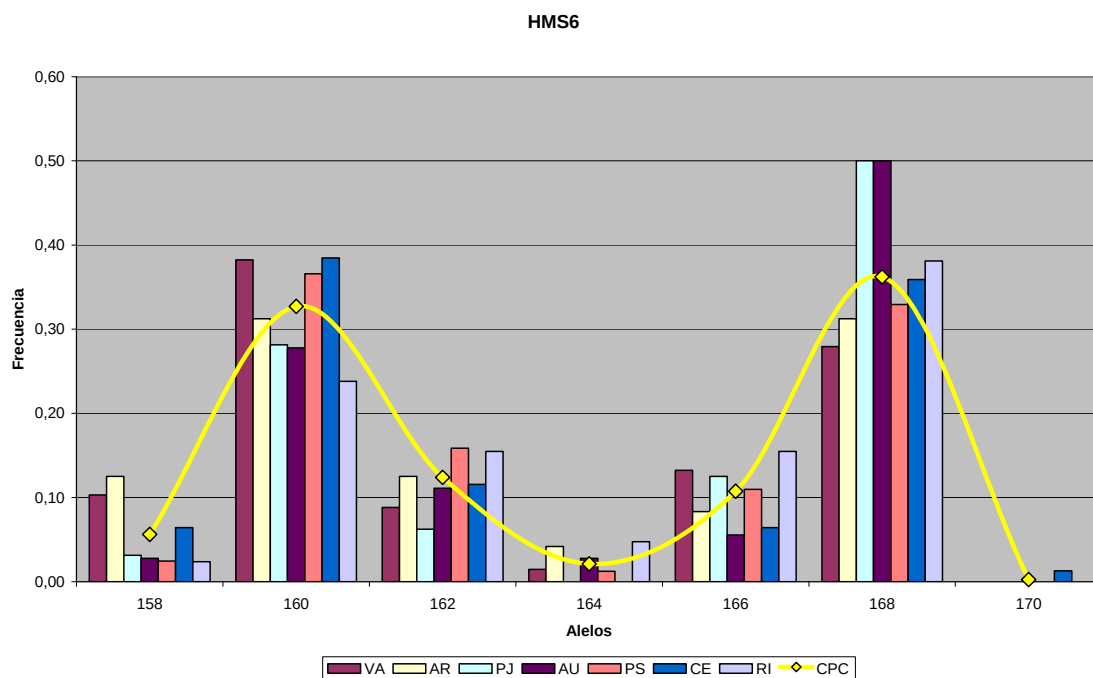


Figura 28. Histograma con las frecuencias alélicas del microsatélite HMS6 por comarca (barras) y diagrama con la distribución de la frecuencia alélica para la raza CPC (línea amarilla). VA: Val d'Aran; AR: Alta Ribagorça; PJ: Pallars Jussà; AU: Alt Urgell; PS: Pallars Sobirà; CE: Cerdanya; RI: Ripollès; CPC: Cavall Pirinenc Català.

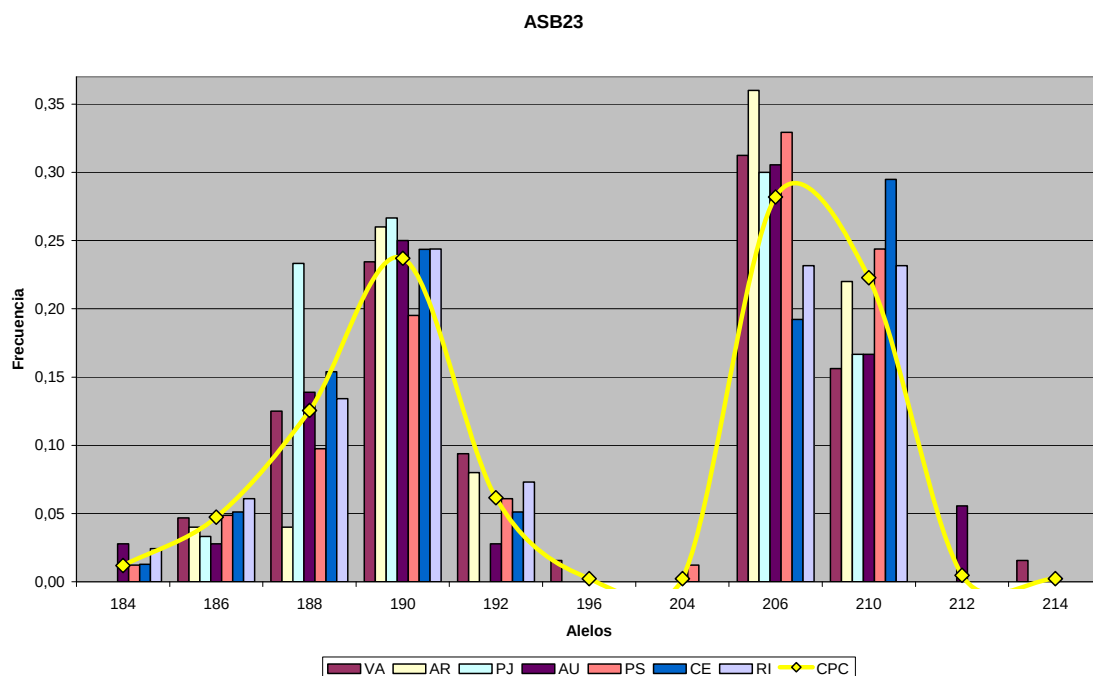


Figura 29. Histograma con las frecuencias alélicas del microsatélite ASB23 por comarca (barras) y diagrama con la distribución de la frecuencia alélica para la raza CPC (línea amarilla). VA: Val d'Aran; AR: Alta Ribagorça; PJ: Pallars Jussà; AU: Alt Urgell; PS: Pallars Sobirà; CE: Cerdanya; RI: Ripollès; CPC: Cavall Pirinenc Català.

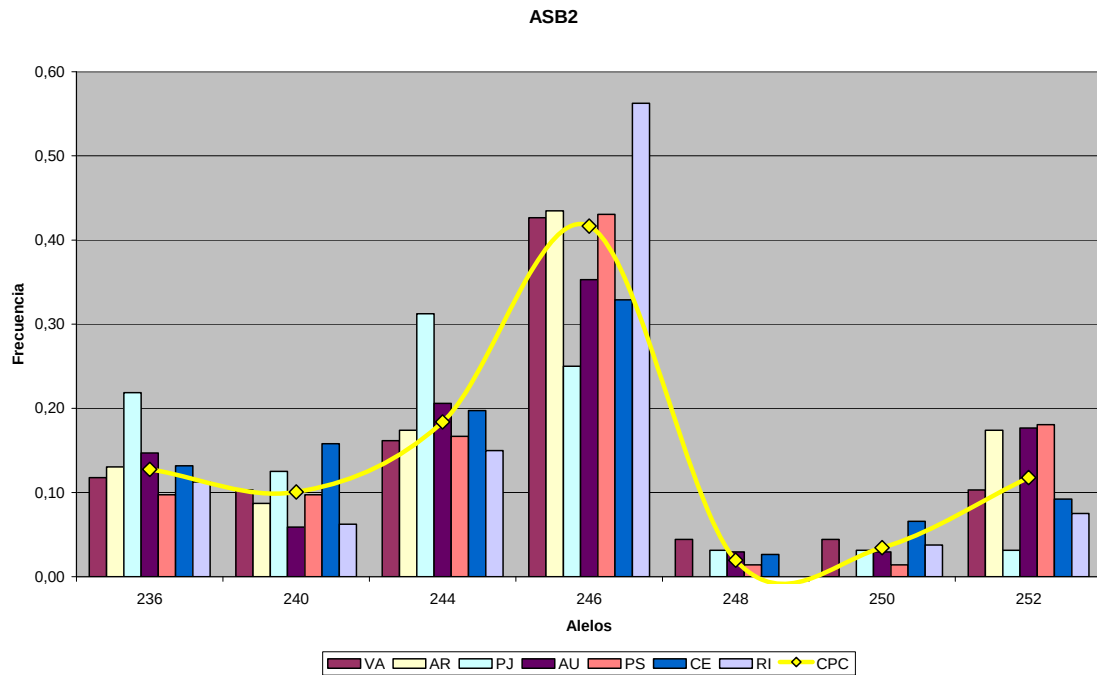


Figura 30. Histograma con las frecuencias alélicas del microsatélite ASB2 por comarca (barras) y diagrama con la distribución de la frecuencia alélica para la raza CPC (línea amarilla). VA: Val d'Aran; AR: Alta Ribagorça; PJ: Pallars Jussà; AU: Alt Urgell; PS: Pallars Sobirà; CE: Cerdanya; RI: Ripollès; CPC: Cavall Pirinenc Català.

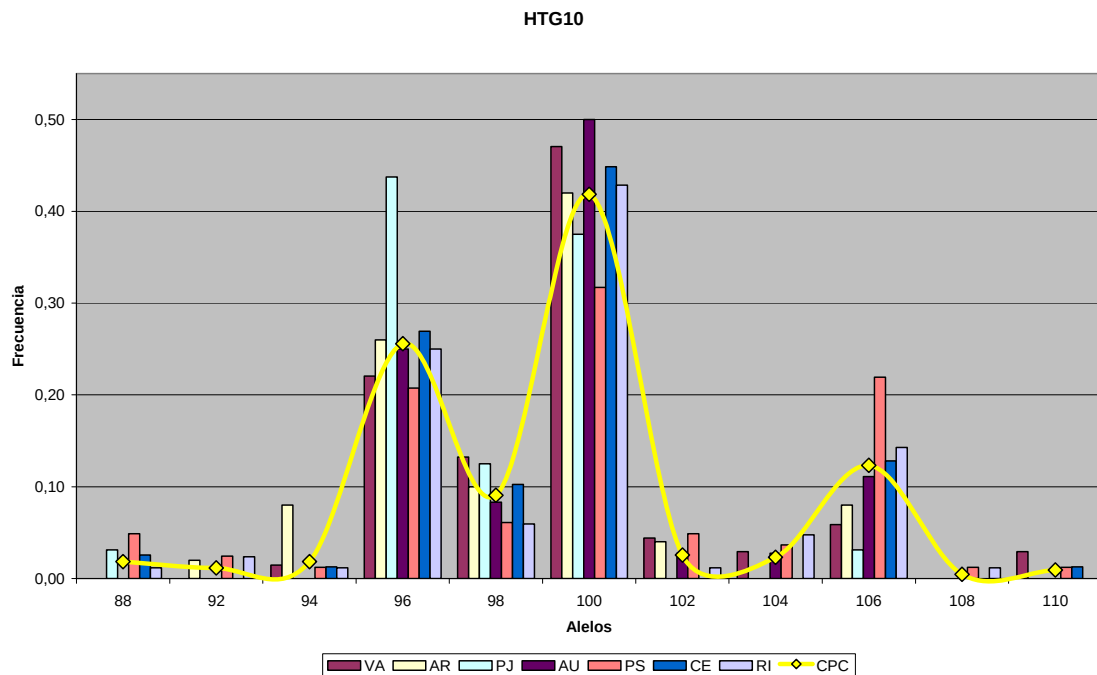


Figura 31. Histograma con las frecuencias alélicas del microsatélite HTG10 por comarca (barras) y diagrama con la distribución de la frecuencia alélica para la raza CPC (línea amarilla). VA: Val d'Aran; AR: Alta Ribagorça; PJ: Pallars Jussà; AU: Alt Urgell; PS: Pallars Sobirà; CE: Cerdanya; RI: Ripollès; CPC: Cavall Pirinenc Català.

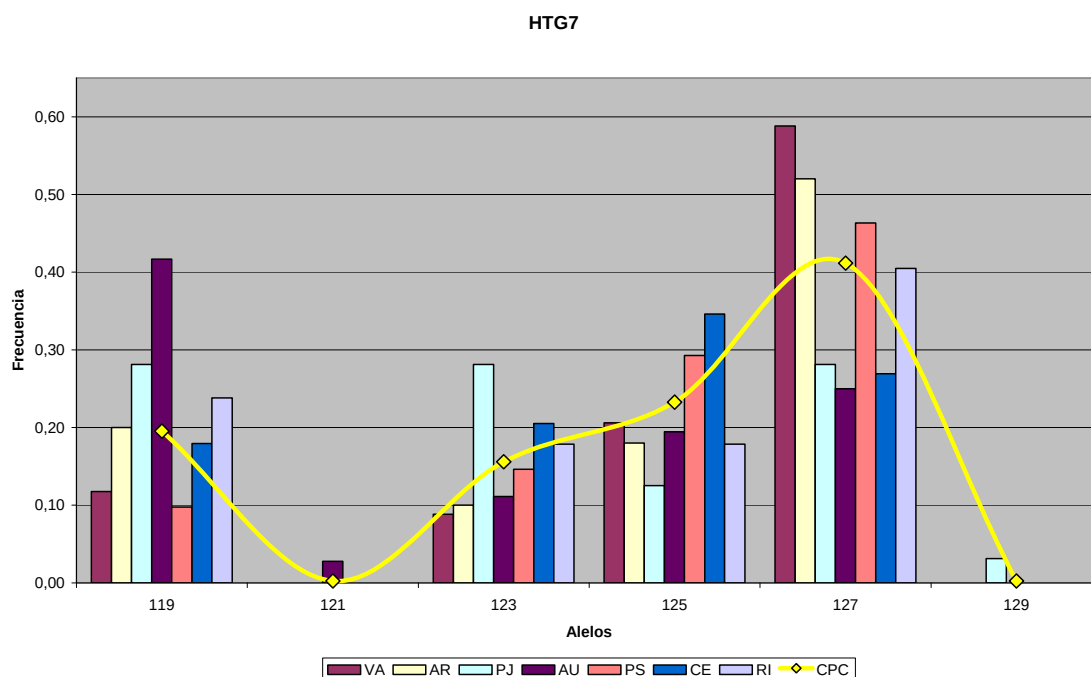


Figura 32. Histograma con las frecuencias alélicas del microsatélite HTG7 por comarca (barras) y diagrama con la distribución de la frecuencia alélica para la raza CPC (línea amarilla). VA: Val d'Aran; AR: Alta Ribagorça; PJ: Pallars Jussà; AU: Alt Urgell; PS: Pallars Sobirà; CE: Cerdanya; RI: Ripollès; CPC: Cavall Pirinenc Català.

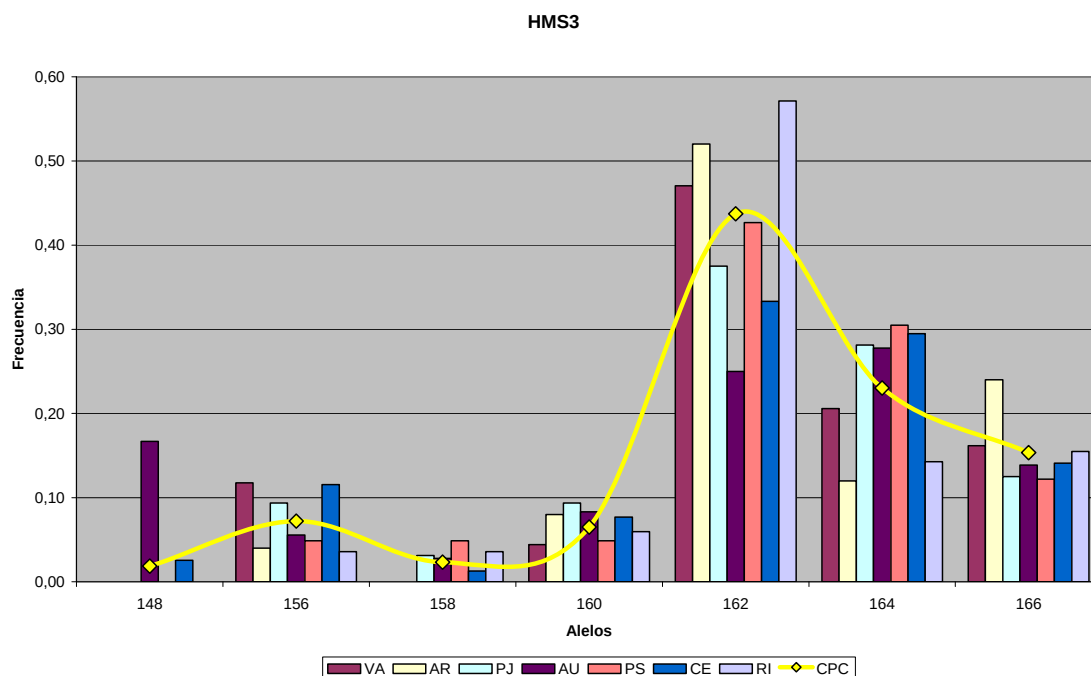


Figura 33. Histograma con las frecuencias alélicas del microsatélite HMS3 por comarca (barras) y diagrama con la distribución de la frecuencia alélica para la raza CPC (línea amarilla). VA: Val d'Aran; AR: Alta Ribagorça; PJ: Pallars Jussà; AU: Alt Urgell; PS: Pallars Sobirà; CE: Cerdanya; RI: Ripollès; CPC: Cavall Pirinenc Català.

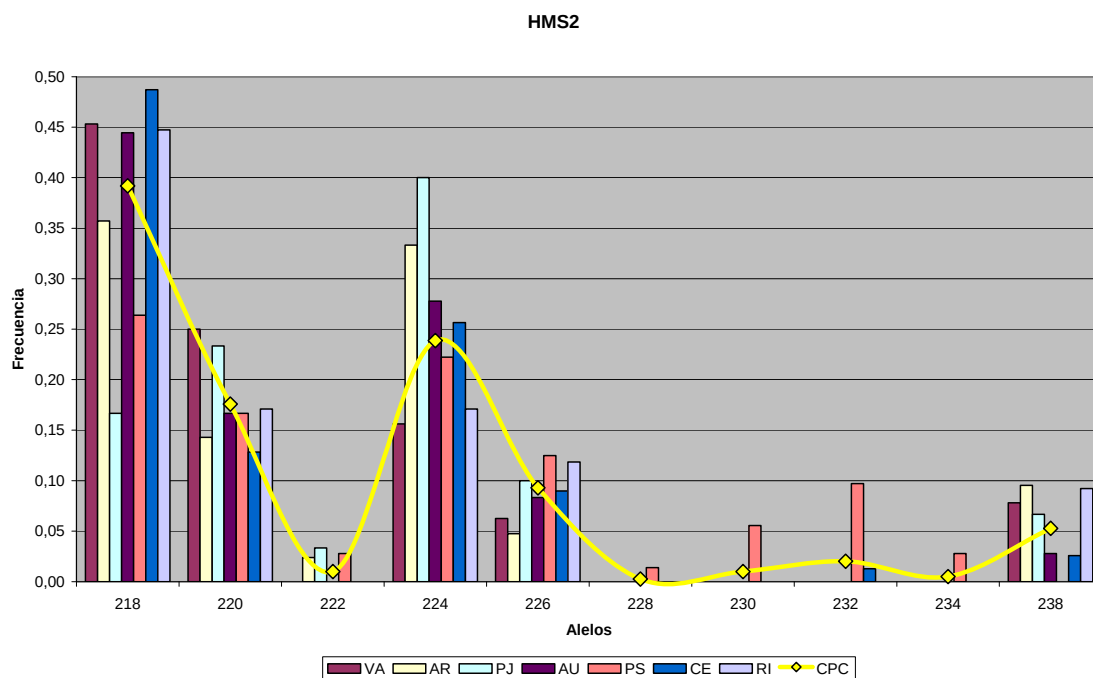


Figura 34. Histograma con las frecuencias alélicas del microsatélite HMS2 por comarca (barras) y diagrama con la distribución de la frecuencia alélica para la raza CPC (línea amarilla). VA: Val d'Aran; AR: Alta Ribagorça; PJ: Pallars Jussà; AU: Alt Urgell; PS: Pallars Sobirà; CE: Cerdanya; RI: Ripollès; CPC: Cavall Pirinenc Català.

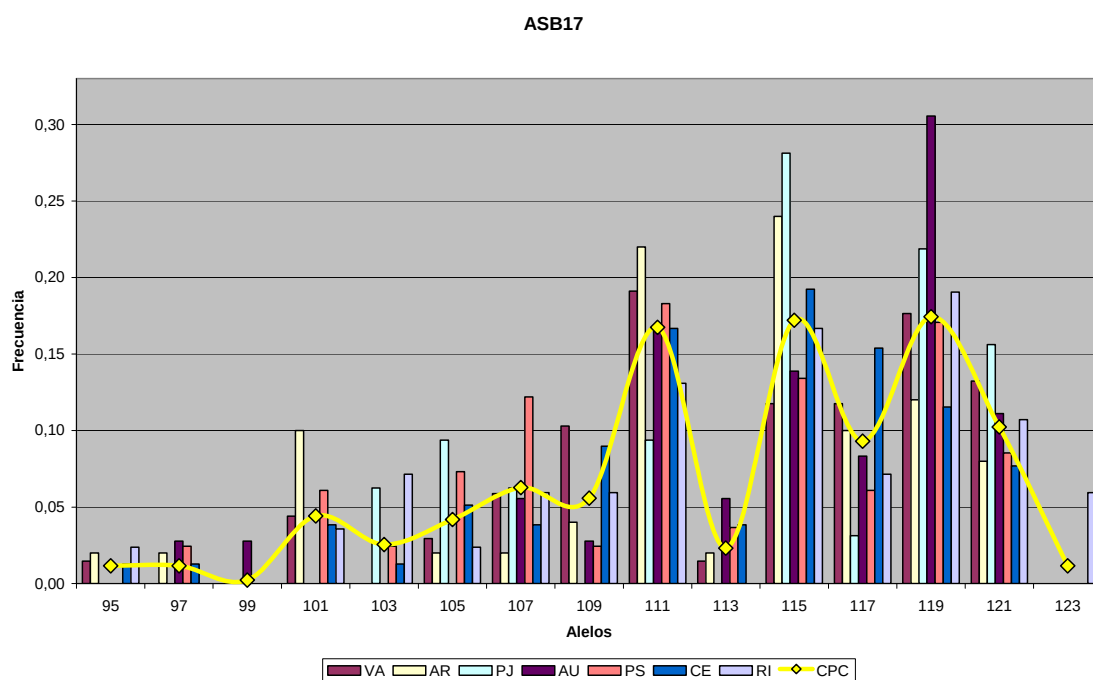


Figura 35. Histograma con las frecuencias alélicas del microsatélite ASB17 por comarca (barras) y diagrama con la distribución de la frecuencia alélica para la raza CPC (línea amarilla). VA: Val d'Aran; AR: Alta Ribagorça; PJ: Pallars Jussà; AU: Alt Urgell; PS: Pallars Sobirà; CE: Cerdanya; RI: Ripollès; CPC: Cavall Pirinenc Català.

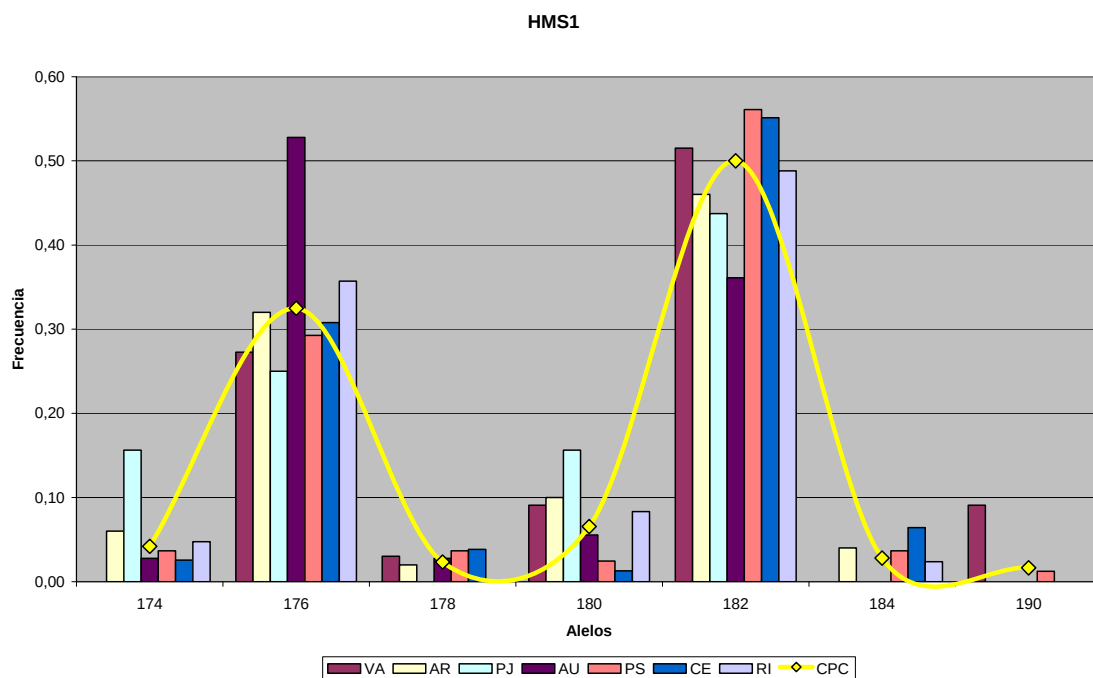


Figura 36. Histograma con las frecuencias alélicas del microsatélite HMS1 por comarca (barras) y diagrama con la distribución de la frecuencia alélica para la raza CPC (línea amarilla). VA: Val d'Aran; AR: Alta Ribagorça; PJ: Pallars Jussà; AU: Alt Urgell; PS: Pallars Sobirà; CE: Cerdanya; RI: Ripollès; CPC: Cavall Pirinenc Català.

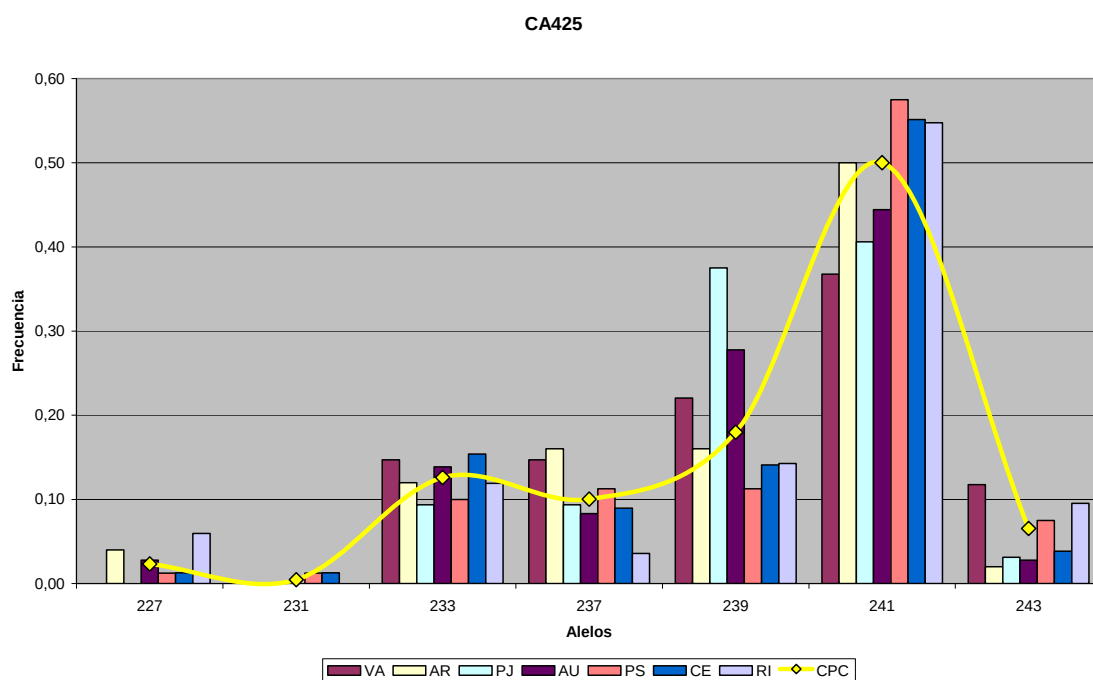


Figura 37. Histograma con las frecuencias alélicas del microsatélite CA425 por comarca (barras) y diagrama con la distribución de la frecuencia alélica para la raza CPC (línea amarilla). VA: Val d'Aran; AR: Alta Ribagorça; PJ: Pallars Jussà; AU: Alt Urgell; PS: Pallars Sobirà; CE: Cerdanya; RI: Ripollès; CPC: Cavall Pirinenc Català.

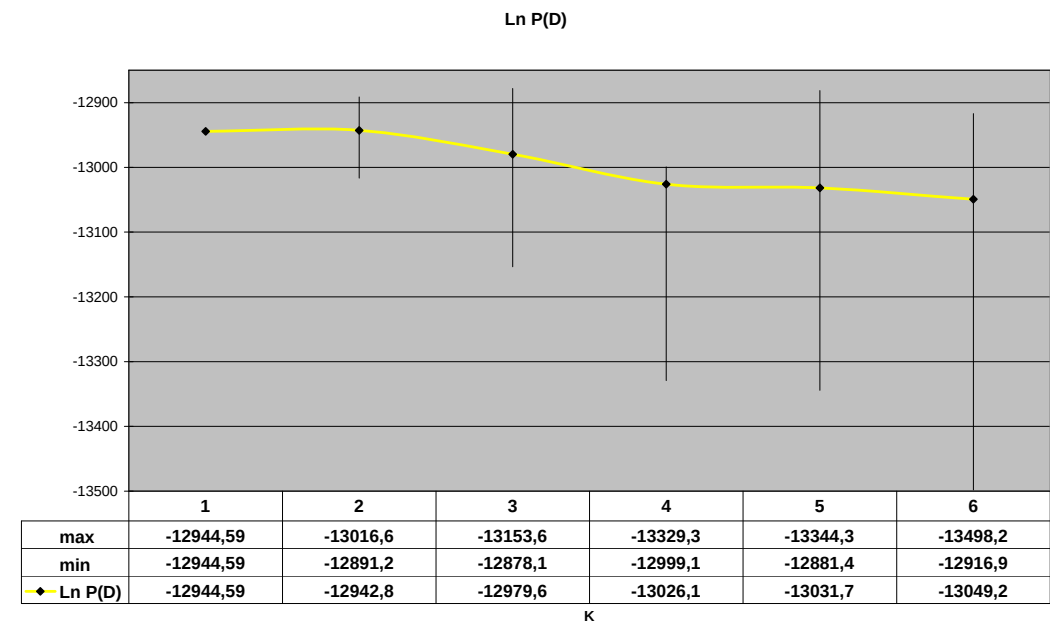
Anexo 6. Alelos privados y su respectiva frecuencia para cada comarca por microsatélite y para el total de la raza. VA: Val d'Aran; AR: Alta Ribagorça; PJ: Pallars Jussà; AU: Alt Urgell; PS: Pallars Sobirà; CE: Cerdanya; RI: Ripollès.

Comarca <i>Locus</i> / N	VA 34	AR 25	PJ 16	AU 18	PS 41	CE 39	RI 42	Total 215
<i>AHT4</i>	164 (0,015)	*	*	*	*	*	*	1
<i>AHT5</i>	*	*	*	*	*	*	*	0
<i>ASB17</i>	*	*	*	99 (0,028)	*	*	123 (0,060)	2
<i>ASB2</i>	*	*	*	*	*	*	*	0
<i>ASB23</i>	196 (0,016)	*	*	212 (0,056)	204 (0,012)	*	*	4
	214 (0,016)	*	*	*	*	*	*	
<i>CA425</i>	*	*	*	*	*	*	*	0
<i>HMS1</i>	*	*	*	*	*	*	*	0
	*	*	*	*	228 (0,014)	*	*	
<i>HMS2</i>	*	*	*	*	230 (0,056)	*	*	3
	*	*	*	*	234 (0,028)	*	*	
<i>HMS3</i>	*	*	*	*	*	*	*	0
<i>HMS6</i>	*	*	*	*	*	170 (0,013)	*	1
<i>HMS7</i>	*	*	*	*	*	*	*	0
<i>HTG4</i>	*	*	*	*	*	*	*	0
<i>HTG6</i>	*	*	*	*	80 (0,012)	*	*	1
<i>HTG7</i>	*	*	129 (0,031)	121 (0,028)	*	*	*	2
<i>HTG10</i>	*	*	*	*	*	*	*	0
<i>VHL20</i>	*	*	*	*	*	89 (0,013)	*	1
Total	3	0	1	3	5	2	1	15

Anexo 7. $f \approx F_{IS}$: (-) exceso o (+) déficit de heterocigotos para cada comarca por marcador;
*: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$; n.s.: no significativo, ^a significancia después de aplicar la corrección de Bonferroni.

<i>Locus</i>	V. d'Aran	A. Ribagorça	P. Jussà	Alt Urgell	P. Sobirà	Cerdanya	Ripollès
<i>AHT4</i>	0,122	0,139	-0,020	-0,069	-0,086	0,078	-0,122
<i>AHT5</i>	0,061	-0,127	-0,172	0,114	-0,020	-0,074	-0,030
<i>ASB17</i>	-0,033	0,079	0,270*, n.s. ^a	0,093	0,044	0,077	0,016
<i>ASB2</i>	-0,001	0,064	-0,181	-0,032	0,107	-0,109	0,189*, n.s. ^a
<i>ASB23</i>	0,113	-0,108	-0,113	-0,024	0,072	0,036	0,194*, n.s. ^a
<i>CA425</i>	-0,148	-0,152	0,290	-0,167	0,018	-0,144	-0,011
<i>HMS1</i>	0,119	0,184	0,046	-0,014	0,069	0,108	0,173
<i>HMS2</i>	-0,014	0,239*, n.s. ^a	-0,134	-0,262	0,271***, n.s. ^a	0,020	0,025
<i>HMS3</i>	0,293***, n.s. ^a	0,280*, n.s. ^a	0,027	0,128	0,179*, n.s. ^a	0,071	0,057
<i>HMS6</i>	0,021	0,203	0,071	0,264	-0,140	0,099	-0,007
<i>HMS7</i>	-0,022	-0,110	0,274*, n.s. ^a	0,209	0,170*, n.s. ^a	-0,019	0,104
<i>HTG4</i>	0,091	-0,038	-0,217	-0,172	0,084	0,015	0,055
<i>HTG6</i>	0,086	-0,095	0,176	-0,063	0,141	-0,061	-0,017
<i>HTG7</i>	0,316***, n.s. ^a	-0,030	-0,226	-0,063	0,137	0,069	0,147
<i>HTG10</i>	0,139	0,036	0,167	0,029	-0,150	0,058	0,094
<i>VHL20</i>	-0,043	-0,045	-0,098	-0,046	-0,031	-0,117	-0,083
Total	0,062***, * ^a	0,035	0,003	-0,001	0,050***, n.s. ^a	0,009	0,049*, n.s. ^a

Anexo 8. Ln P(D). Valores presentados del valor del Ln P(D) para cada población K. Puntos negros representan el valor medio del Ln P(D); Línea amarilla representa la tendencia de los valores de la media sobre las K poblaciones; Líneas en negro representan los valores máximos y mínimos.



Cavall Pirinenc Català



Un gran número de razas autóctonas de animales de granja se encuentran al borde de la extinción. A no ser que se tomen medidas urgentes, gran parte de los recursos zoogenéticos mundiales de estos animales domésticos desaparecerán (www.fao.org).



Departament de Ciència Animal i dels Aliments
Facultat de Veterinària