

Morfología y funcionalidad en los équidos

Valera, M.*; Gómez, M.D.**; Cervantes, I.*** y Peña, F.****

* Dpto. Ciencias Agroforestales. EUITA. Universidad de Sevilla. mvalera@us.es

** Dpto. Genética. Campus Universitario de Rabanales. Universidad de Córdoba.
agr158equinos@gmail.com

*** Dpto. Producción Animal. Universidad Complutense de Madrid. icervantes@vet.ucm.es

**** Dpto. Producción Animal. Campus Universitario de Rabanales. Universidad de Córdoba.
pa1peblf@uco.es

1. Introducción

701

2. Aptitudes funcionales del caballo

703

3. Técnicas de medida de la capacidad morfofuncional en el caballo

707

4. Relación entre morfología y funcionalidad.
Su importancia en la selección genética equina

714

5. Calificación morfológica lineal en los esquemas de selección de las razas equinas españolas

718

Bibliografía

725

1. Introducción

IMPORTANCIA DE LA MORFOLOGÍA EN LA FUNCIONALIDAD DE LOS ÉQUIDOS

El hombre ha criado caballos con el fin de obtener fuerza, velocidad o belleza en función de sus necesidades (Edwards, 1992); esto ha producido la considerable divergencia entre las razas equinas (Cano *et al.*, 2001). La conformación física del caballo es pues el resultado de la evolución natural, donde las demandas del medio han influido, de forma gradual, en el desarrollo de las propiedades locomotoras más adecuadas.

En la cría equina, la conformación es un factor importante, ya que la forma del cuerpo define los límites del rango de movimientos y funcionalidad del caballo y en última instancia su rendimiento (Mawsley *et al.*, 1996). Por ello, un insuficiente conocimiento de la influencia de la conformación en el rendimiento y en la propia salud y bienestar del animal, puede provocar una inadecuada selección de reproductores para la cría (Holmström and Philipsson, 1993). La importancia de la conformación se pone de manifiesto con la expresión “nullus pes nullus equus” (sin pie no hay caballo), que evidencia que las extremidades son la base del caballo, principalmente cuando se trata de futuros reproductores (Sala, 1999).

Cada vez son más los técnicos y los ganaderos que otorgan mayor valor a la correlación entre la morfología y la funcionalidad, frente a otros caracteres externos de los caballos, como pueden ser el color de la capa. A este respecto, Cárdenas (2005), criador de caballos de Pura Raza Española, manifiesta fundamental la unión indisoluble de raza y funcionalidad: *“Un ejemplar muy bello y dentro de la raza, pero que sin embargo resulte inútil o inepto en movimientos, no sirve para nada. Pero por muy funcional que, por otra parte, sea un caballo, si le falta raza, debe ser así mismo desechado. Si los jueces no son capaces de poner en práctica este criterio, la raza está perdida”*.

CONTROL DE RENDIMIENTOS DE LAS APTITUDES MORFO-FUNCIONALES

Para conseguir caballos con una conformación correcta, es necesario empezar seleccionando sementales y yeguas con una buena morfología. Todos sabemos que los caballos perfectos no existen, pero también es verdad que la calidad de los animales depende en gran medida del rigor del criador (Sala, 1999).

Los datos basados en los resultados de competiciones, pruebas de rendimiento y/o resultados de conformación representan los principales criterios de selec-

ción en la mayoría de los Esquemas de Selección de los Caballos deportivos. Pero en algunos países, también están considerando los datos fisiológicos para mejorar la estima del valor genético de sus futuros sementales y hembras reproductoras. La estimación de parámetros cardiovasculares, metabólicos, musculares y locomotores está siendo utilizada en algunos programas desde que se descubrió una marcada correlación fenotípica entre ellos y los resultados de competición (Rivero and Barrey, 2001).

Actualmente los controles de rendimientos que se están llevando a cabo dentro de los Esquemas de Selección de las principales razas equinas españolas, están basados en la recogida sistemática de los datos articulados en cada Plan de Mejora, con el objeto de ser evaluados y cuantificados en la valoración genética de los reproductores. Las principales fuentes de información para complementar los datos disponibles y necesarios para la evaluación genética de los animales han sido especificadas en los correspondientes Esquemas de Selección. Según la Orden APA/1018/2003, los controles de rendimientos pueden provenir de:

- Laboratorios o Centros de Locomoción Equina. Se recomienda su inclusión para el control de rendimientos en aquellas razas en las que se hayan realizado estudios científicos de la medida precoz de la aptitud funcional mediante criterios indirectos que sean representativos de la potencialidad del caballo, que sean fáciles de medir, fiables, precisos y con suficiente variabilidad y determinismo genético. Estos centros actuarán dando una información complementaria a las pruebas funcionales realizadas en las Estaciones de Prueba y los Centros de Alto Rendimiento y su función es proporcionar una información precoz de la capacidad funcional del reproductor mediante el análisis biomecánico de la locomoción y de su capacidad fisiológica para el ejercicio y resistencia al esfuerzo. En este sentido se recomienda que los futuros reproductores entren en los Centros de Locomoción Equina entre los 2 y 3 años de edad.
- Centros de Testaje, Estaciones de Prueba y Centros de Alto Rendimiento para caballos jóvenes con factores ambientales controlados. En estos centros, que deberán reunir la infraestructura y medios necesarios para el desarrollo de las pruebas, se permite la comparación directa de animales que compiten bajo un ambiente común y por tanto se pueden determinar las diferencias que existen de tipo genético, siendo recomendable para caracteres que por su baja heredabilidad son poco fiables a nivel de campo o bien cuando existe una gran dificultad en la separación de efectos genéticos y ambientales. Deberá minimizarse la influencia del jinete para el desarrollo y valoración de las pruebas.

- Pruebas de caballos jóvenes. Se trata de un conjunto de pruebas de selección en caballos jóvenes que previamente hayan sido homologadas y cuyos resultados pueden ser incorporados a los Esquemas de Selección, en las condiciones que éstos determinen. Sus objetivos son los siguientes:
 - Verificar y completar la formación de base de los caballos jóvenes y favorecer su aprendizaje.
 - Evaluar sus aptitudes naturales y mantener su buen estado físico.
 - Contribuir a la mejora de las razas a través de la selección de los futuros reproductores, machos y hembras, gracias a una evaluación precoz de sus descendientes y orientarlos a los objetivos del esquema.
 - Desarrollar su potencial y sus cualidades en un medio idóneo.
 - Establecer unos criterios de puntuación y evaluación objetiva que permitan catalogar a los animales según sus méritos e incorporar los resultados en los esquemas de selección mediante el oportuno diseño de las conexiones genéticas entre las diferentes pruebas.
 - Facilitar la difusión y comercialización de los productos.
 - Ampliarla oferta de caballos para los jinetes que practican la equitación en sus diversas modalidades.
 - Permitir a los ganaderos la comprobación y el seguimiento de sus programas de cría y selección.

2. Aptitudes funcionales del caballo

La versatilidad de la especie equina se pone de manifiesto, entre otras cosas, por la diversidad de aptitudes funcionales que posee:

GALOPADORES.—Los animales destinados a velocidad, independientemente de la distancia, han de poseer un cuerpo ligero y por tanto un peso adecuado a su tamaño general (450 kg). Es preferible las proporciones alargadas y que sean “lejos de tierra”. Su alzada se sitúa entre 1,6-1,70 m.

Su morfología general deben ser de formas estiradas y esbeltas; la cabeza de pequeño tamaño, cuello largo, poco inclinado y de forma piramidal, a la vez que de tablas estrechas y planas; cruz muy destacada y larga, línea dorso-lumbar

recta, muy flexible y ascendente hacia la palomilla, grupa larga e inclinada aunque de línea sacra tendente a la horizontal; tronco profundo, relativamente estrecho y vientre recogido; espalda larga e inclinada, brazo largo y ángulo escapulo-humeral abierto; fémur poco inclinado, pierna larga y abertura femoro-tibial amplia; nalga y muslo musculazos; extremidades, en su conjunto, largas y bien aplomadas. Su biotipo es hipermetabólico.

La raza más importante para esta funcionalidad es el Caballo de Pura Sangre Inglés.



Figura 1. Caballo Pura Raza Menorquina.



Figura 2. Caballo Trotador Español.



Figura 3. Caballo Pura Raza Español.



Figura 4. Caballo de Deporte Español.

TROTADORES.—Son animales de buena alzada (1,6-1,65 m), cuerpo ligero y proporciones sublongilíneas. La cabeza es delgada, larga y estilizada; cuello recto y delgado, cruz elevada y larga; espalda larga y poco inclinada, el brazo corto y tendiendo a la horizontalidad; grupa larga, inclinada y pierna larga.

En España, la única raza nacional utilizada para las carreras de trote es el Caballo Trotador Español. A nivel internacional existen muchas razas con esta aptitud como el Trotador Alemán (German Trotter) o el Trotador Francés (French Trotter).

DE SILLA.—Caballos de una alzada de 1,65-1,7 m. El cuerpo posee un buen balance en el que la cruz se sitúa a similar altura o ligeramente por debajo de las palomillas; cabeza simétrica, proporcionada y con ojos bien situados, de ollares amplios. El cuello deberá ser de buena longitud y flexible para que pueda arquearse rápidamente. El tronco es ancho, profundo (del lomo a la ingle) y corto (de las caderas a las costillas); lomo recto, plano, con muy buen acoplamiento; grupa con inclinación de 18° respecto de la horizontal.

La raza española más importante utilizada para silla es el Pura Raza Español, mientras que a nivel internacional se utilizan diferentes razas como puede ser el caballo Frisón.

SALTADORES.—Han de poseer buena alzada (1,65-1,75 m) y cuerpo compacto, a 22 grados. El corvejón debe ser ancho y correctamente dirigido; cuello largo y potente, cruz destacada, tronco profundo y ancho, grupa ancha y larga, musculada e inclinada, extremidades largas y potentes, angulaciones del miembro pelviano cerradas. De reacciones suaves, justas y equilibradas entre estímulo y respuesta.

En nuestro país el Caballo de Deporte Español es la raza que actualmente más está destacando para esta funcionalidad. Internacionalmente son muchas las razas que sobresalen para esta aptitud, como puede ser el caballo Hannoveriano.

DE RAID.—Son animales angulosos y enjutos, de músculos largos y planos, con gran proporción de fibras musculares oxidativas. Su alzada se sitúa entre 1,44 y 1,58 m y su peso no debe sobrepasar los 450 kg. Son animales con buena estructura ósea, piel fina, de cabeza pequeña y ancha, cuello largo, cruz alta y destacada, dorso y lomo cortos, grupa no muy larga e inclinada, antebrazo largo, cañas y cuartillas cortas y con una inclinación de 47° a 54°, tronco profundo y vientre horizontal. Es muy importante el tamaño del corazón y el equilibrio mental, así como que sus movimientos sean sueltos, ligeros y con escasas elevaciones.

La raza por excelencia utilizada en España para raid es el Caballo de Pura Raza Árabe. A nivel internacional se puede destacar la participación de animales de raza Criolla.

DE CARNE.—Son animales de tamaño medio a grande con alzadas que se sitúan entre 1,50 a 1,70 m. Su cabeza es de tamaño medio a pequeño, el cuello es de longitud media, de gran profundidad en su inserción en la cabeza y

en el tronco, así como de gran achura y perímetro. El tronco tiende a ser brevílneo y muy profundo y ancho. La cruz suele estar oculta por el cuello, el dorso y lomo son cortos y anchos, pecho amplio y profundo, costillar muy arqueado e ijar corto. Las palomillas son muy destacadas y la grupa suele ser derribada con muslos y nalgas muy desarrolladas. Las extremidades son proporcionalmente cortas y de gran desarrollo óseo, y los cascos muy amplios.

En España se utilizan para la producción cárnica razas equinas situadas sobre todo en el norte de la Península, como puede ser el Caballo de Monte del País Vasco. A nivel mundial, la producción de carne destaca sobre todo en países como Italia y Francia, con razas como el Caballo Bretón.

TRACCIONADORES.—Animales de una alzada a la cruz entre 1,55-1,70 e hiper-métricos (650-850 Kg. de peso vivo). Équidos “cerca de tierra” y de conformación compacta con predominio de los diámetros de anchura sobre los de altura y longitud. Cuellos cortos y anchos. Tronco redondeado y profundo con pecho de gran desarrollo. Espaldas poco inclinadas y grupas derribadas y muy musculadas. Extremidades cortas y de gran desarrollo óseo y con cuartillas cortas.



Figura 5. Pura Raza Árabe.



Figura 6. Raza Burguete.



Figura 7. Raza Jaca Navarra.

3. Técnicas de medida de la capacidad morfofuncional en el caballo

Tradicionalmente, la medida de la funcionalidad y de la morfología de los équidos se ha evaluado de forma independiente. No obstante, estudios científicos (Langlois *et al.*, 1978; Holmström *et al.*, 1990 y 1994) ponen de manifiesto la relación entre la conformación de los équidos y su funcionalidad para una determinada disciplina. Por todo ello, se hace imprescindible la medida en conjunto de la capacidad morfofuncional del caballo.

Clásicamente esta valoración se ha realizado mediante jueces experimentados, pero el análisis de los aires del caballo basado en este tipo de valoración no deja de estar lleno de subjetividad. Actualmente han comenzado a aplicarse nuevas metodologías que permiten analizar la funcionalidad de los équidos de forma objetiva y que desarrollaremos a lo largo de este apartado.

LA EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO EN EL TREADMILL

El treadmill (cinta rodante) es un equipo que permite realizar la evaluación de los aires a velocidad constante y preestablecida, controlando y estandarizando los parámetros externos como la temperatura, humedad, velocidad del viento y/o inclinación del suelo, etc. Así mismo, permite integrar estudios bioquímicos, fisiológicos y biomecánicos.

Para que el caballo realice sus movimientos de forma natural es necesaria una habituación previa a este tipo de equipos. Se ha observado que incluso los caballos con experiencia en treadmill necesitan al menos un minuto para que su movimiento siga un patrón natural (Clayton and Schamhardt, 2000).

A pesar de que el caballo usa menos energía en moverse dentro del treadmill que en el suelo a la misma velocidad, debido a la energía que le transmite el treadmill, su uso permite el estudio del movimiento bajo diversas condiciones y mediante diferentes metodologías que veremos a continuación (videografía, electrogoniometría, electromiografía, análisis cardiorrespiratorio, etc.).

ANÁLISIS CINEMÁTICO: VIDEOGRAFÍA Y OTROS SISTEMAS

La **cinemática** estudia los cambios en la posición espacial de los segmentos corporales durante un tiempo concreto. Los movimientos se cuantifican mediante

variables temporales que estudian la duración del tranco (patrón de coordinación y emplazamiento de los miembros que se repite con la locomoción) y los patrones de coordinación de los miembros, variables lineales y angulares que relacionan tiempo, desplazamiento, velocidad y aceleración (Barrey, 1999).

Actualmente las técnicas cinemáticas más usadas en la evaluación del movimiento en équidos son la videografía (filmación del movimiento), los sistemas optoeléctricos basados en la emisión detección de luz visible o infrarroja y la electrogoniometría.

Con la **videografía** se puede realizar un estudio descriptivo de la locomoción mediante la filmación del animal con una o más cámaras, con el objeto de estudiar cada una de las partes del cuerpo en movimiento (Barrey, 1999; Barrey *et al.*, 2002). Los sistemas actuales de videografía incluyen la siguiente secuencia de actuaciones (Clayton and Schamhardt, 2000):

- *Colocación de los marcadores reflectantes sobre el animal.* Los marcadores de 2-3 cm son colocados sobre la piel en determinadas referencias óseas. Su localización dependerá del objetivo del estudio. Así para el estudio del tronco se colocan en la línea dorsolumbar y para evaluar asimetrías en el movimiento se colocan en el cuello, cruz y grupa.
- *Grabación del video.* La colocación de las cámaras es muy importante en este tipo de técnicas. En el caso de los estudios en dos dimensiones, la cámara debe colocarse en el plano perpendicular al que se quiere grabar. Para los estudios en tres dimensiones sólo se requiere que todos los marcadores sean visibles en todo momento por al menos 2 cámaras.
- *Calibración.* Es necesaria la colocación de una escala que después permita el procesado de los datos y su transformación a la realidad. Se usa un marco rectangular o una regla para los análisis en 2 dimensiones, colocados a lo largo de la línea de progresión del caballo. En los análisis de 3 dimensiones se realiza mediante la identificación de puntos de control no-coplanares. Esta fase de la técnica es muy importante puesto que va a determinar la fiabilidad del estudio.
- *Digitalización.* Puede realizarse de forma manual o automática de modo que cada marcador es localizado y es calculada su posición.
- *Normalización.* La estandarización de los datos hace que la información de diferentes caballos pueda ser comparable. Para ello se estandarizan varios parámetros como la duración del tranco, la postura y el ritmo.

Este sistema se está utilizando mayoritariamente en el control de rendimiento en équidos (Centros de locomoción equina) y como herramienta en la mejora genética de la funcionalidad.

Los **sistemas optoeléctricos** son similares a la videografía, pero su uso se restringe al laboratorio porque exige unas condiciones lumínicas muy controladas y una serie de fotodiodos conectados al sujeto en estudio. Este sistema usa marcadores capaces de emitir una señal (marcadores activos) o de detectarla o reflejarla (marcadores pasivos).

La **Electrogoniometría** es una técnica que permite la medida de los cambios angulares de las articulaciones. El electrogoniómetro está constituido por un potenciómetro unido a dos brazos metálicos móviles que son los que se fijan a uno y otro lado de la articulación que se quiere estudiar. Los cambios articulares son captados por el potenciómetro que es calibrado para producir un desplazamiento proporcional al realizado por la articulación pero de magnitud conocida. Este sistemas se ha utilizado mucho en el estudio de cojeras difíciles de diagnosticar y para evaluar el movimiento articular después de tratamientos médicos y quirúrgicos (Clayton and Schamhardt, 2000).

ANÁLISIS CINÉTICO: ACCELEROMETRÍA

La **cinética o dinámica** estudia la causa del movimiento que podría explicarse mediante la fuerza, tanto externa como interna, aplicada al cuerpo, su distribución y sus dimensiones. Está relacionada con las fuerzas, energía y trabajo y a su vez también con variables cinemáticas tales como la aceleración y la velocidad (Barrey, 1999).

La transmisión de fuerzas y las aceleraciones del cuerpo son medidas mediante el uso de acelerómetros e indicadores de tensión colocados directamente al sujeto en estudio.

La **acelerometría** es la medida de la aceleración del cuerpo en estudio mediante acelerómetros. Estos aparatos consisten en una pequeña masa suspendida que emite una señal electrónica cuya magnitud es proporcional al cambio de velocidad que realiza en cuerpo en cada instante. El vector de aceleración es proporcional a la fuerza resultante aplicada al centro de gravedad de un cuerpo. Su determinación es válida para estudiar la cinética de un cuerpo en movimiento. Los acelerómetros deben colocarse lo mas cerca posible del centro de gravedad (en la parte caudal de los músculos pectorales ascendentes y bajo al cincha de montar) aunque también se ha usado aplicados a la pared del casco (Barrey *et al.*, 1994).

La señal de aceleración puede tratarse mediante diferentes procedimientos para extraer distintos parámetros temporales y dinámicos del tranco, calculando diferentes variables cinemáticas (desplazamiento lineal o angular) (Galloux *et al.*, 1994).

La principal ventaja de los acelerómetros es la simplicidad de la técnica de medida que permite su aplicación en la práctica.

Los sistemas acelerométricos se han difundido en el estudio del movimiento de los équidos gracias al diseño de equipos como el Equimetrix®, capaz de realizar test de conformación, de aptitud para el salto y el análisis del paso, trote y galope mediante un dispositivo colocado sobre el animal y con la ayuda de un software específico se obtendrá la fuerza, el equilibrio, la cadencia, la amplitud, la regularidad, la simetría, la propulsión, etc., de los movimientos del animal.

ELECTROMIOGRAFÍA

La **electromiografía** proporciona información de la actividad neuronal durante la contracción muscular tanto refleja como voluntaria. Los cambios eléctricos son detectados por electrodos que son colocados en la piel o dentro del tejido muscular.

El equipo necesario para realizar esta técnica, son unos electrodos que recogen los potenciales, un amplificador de señales, un filtro para evitar los ruidos de contaminación y un sistema de recogida de datos. Los datos pueden ser transferidos desde los electrodos al amplificador de señales a través de cables o vía telemétrica (Clayton and Schamhardt, 2000).

Dependiendo de la profundidad a la que se encuentre el músculo en estudio, los electrodos deben colocarse en un lugar u otro. Muchos de los músculos que participan activamente en la locomoción equina están situados en profundidad o se sitúan bajo músculos más superficiales con lo que se hace imposible estudiar su actividad mediante electrodos colocados en la piel. El uso de la técnica percutánea requiere el empleo de agujas que introducen el electrodo en el interior del músculo. Aunque este procedimiento es más complejo y la técnica quirúrgica pueda tener algo de riesgo, los resultados que se obtienen son muy fiables.

Los datos se transforman a un formato digital, mediante la utilización de un software especializado para procesar la información, que permite medir amplitudes y frecuencias de las señales eléctricas (representan los picos de señal eléctrica y miden el área de las curvas resultantes).

Así, el electromiograma consta de tres fases: actividad durante la inserción, actividad en reposo y la actividad durante la contracción muscular.

La amplitud de la señal de electromiografía depende de la dimensión de los electrodos, del contacto eléctrico con el músculo y del tipo de electrodos, ya que la señal de los electrodos colocados en superficie es mayor que la de los colocados en profundidad. A pesar de todo, la mayor influencia en la amplitud de la señal está ejercida por el grado de activación del músculo. La amplitud de la señal eléctrica se usa, como medida de la actividad muscular y, de forma indirecta, como medida del desarrollo de la fuerza muscular, aunque para estimar esta fuerza muscular con fiabilidad se necesitarían usar modelos que combinaran otras variables como longitud y velocidad relacionadas con las fibras musculares y la activación muscular (Clayton and Schamhardt, 2000).

ANÁLISIS CARDIORRESPIRATORIO

La medida de la capacidad cardiorrespiratoria de los équidos puede llevarse a cabo en campo o mediante el uso del treadmill. Lo importante es conseguir especificidad (medición de los parámetros en condiciones reales) y la estandarización del modo en que se realiza el test para que los resultados sean comparables. Por ello, en condiciones de campo es muy complicado. Los test de campo tienen la ventaja de la especificidad y los realizados en treadmill la de la estandarización.



Figura 8. Cinta Rodante o Treadmill.
(Fotografía cedida por F. Castejón).



Figura 9. Máscara. (Fotografía cedida por F. Castejón).

Para medir parámetros relacionados con la ventilación (volumen tidal, frecuencia respiratoria, ventilación por minuto y los picos media inspiratoria y espiratoria) se utilizan los neumotacógrafos (l/seg.). Estos aparatos producen una obstrucción en el paso del aire causando una caída de la presión. La obstrucción (mediante pantallas, mallas o panales de tubos) debe ser suficiente para crear una diferencia de presión, pero sin que se dificulte la respiración del individuo. La desventaja de estos aparatos es que las secreciones pueden alterar la magnitud de la obstrucción, debiendo ser el flujo de aire seleccionado, el adecuado para cada individuo ya que si no es así puede afectar a la ventilación normal del caballo. Se han diseñado también neumotacógrafos con transductores de ultrasonidos que regulan el paso del aire de forma que ejercen menor resistencia que los anteriores, pero su calibración puede ser afectada por la composición y humedad del aire.

Los sistemas usados para medir el consumo de O_2 son análisis electroquímicos, mediante sensores conectados a unos electrodos de referencia y paramagnéticos basados en la atracción del oxígeno por los campos magnéticos. Para la medida del CO_2 se usan técnicas fotométricas basadas en la capacidad de absorción de luz de una determinada longitud de onda.

La frecuencia cardiaca, que puede ser medida fácilmente mediante monitores de frecuencia cardiaca o electrocardiogramas, es un buen estimador del esfuerzo que se está realizando. Las dos variables que se miden para relacionar la frecuencia cardiaca con la velocidad son la V_{140} y la V_{200} que indican la velocidad a la que el individuo tiene 140 y 200 pulsaciones por minuto respectivamente. Ambos parámetros dependen del entrenamiento del caballo. Así en los caballos Pura Sangre sin entrenamiento la V_{140} suele estar en 7 m/s, mientras que los entrenados están en 7-9 m/s (en los caballos entrenados para resistencia suele obtenerse este mismo valor). La velocidad a la que se obtiene la frecuencia cardiaca máxima (V_{Hrmax}) es también un indicador de la capacidad de respuesta al ejercicio (Marlin and Nankervis, 2002).

La medida del gasto cardiaco se realiza mediante el uso de diluciones indicadoras, como el verde de indocianina, inyectadas en bolo en el atrio derecho o en la vena yugular. La concentración en sangre de este tipo de sustancias se mide de forma continua en la circulación arterial, mediante ecocardiografía (doppler) en caballos anestesiados. También pueden usarse radionúclidos o la cardiografía de impedancia.

Otro indicador del ejercicio realizado por el animal es la medida de la concentración de ácido láctico (lactato), que puede ser medido en sangre y en plasma (valores mayores que en sangre). Este valor es fácil de medir mediante peque-

ños analizadores portátiles para los que se requiere un volumen de muestra muy pequeño.

La concentración en reposo es de 1 mmol/l. La respuesta en la producción de lactato depende del entrenamiento, la distancia, del estado de salud y de la habilidad propia del individuo. El lactato en sangre es un indicador del metabolismo anaerobio, la obtención de un pico de concentración de lactato nos muestra la capacidad de sprint del caballo. Su concentración debe disminuir después de la realización del ejercicio.

Otros parámetros que nos indican la capacidad cardiorrespiratoria del individuo son: la composición de gases de la sangre arterial y venosa, la presión sanguínea, la temperatura corporal y el grado de sudoración.

A pesar de la dificultad de medir algunos de estos parámetros en campo, se han diseñado equipos que permiten controlar muchos de ellos, como la monitorización de la frecuencia cardiaca o la ECG por telemetría (mide parámetros de ventilación y sistemas de recolección de muestras de sangre automático durante el ejercicio).

ESTUDIO HISTOLÓGICO: ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN MUSCULAR

El músculo esquelético constituye el 40% del peso corporal en humanos y el 45% en los équidos (hasta el 55% en el Pura Sangre Inglés). El músculo está compuesto de fibras musculares de diferentes tipos que se pueden clasificar según sus características contráctiles y oxidativas en:

- Tipo I. Son fibras de contracción lenta y metabolismo aerobio, con un buen abastecimiento capilar, alto contenido en mioglobina y pequeño diámetro. Su mecanismo de funcionamiento hace que sean fibras de fatigación lenta.
- Tipo II. Son fibras de contracción rápida. Su abastecimiento capilar es pobre, su diámetro es mayor y se fatigan más rápido que las de tipo I. El desarrollo de las técnicas de detección de fibras musculares en équidos ha permitido el descubrimiento de subtipos fibrilares: Tipo IIA, IIB, IIAB y IIC (Lindholm and Piehl, 1974; Essén-Gustavsson *et al.*, 1980; Ronéus *et al.*, 1991). Las Fibras Tipo IIA tienen un metabolismo oxidativo alto mientras que las Tipo IIB son de metabolismo oxidativo bajo (anaerobias).

Cada músculo del caballo contiene una mezcla de los tres tipos de fibras principales (I, IIA y IIB) que constituyen el 95% del total. Las de tipo IIAB se pre-

sentan en pequeña proporción. Y las de tipo IIC son menos frecuentes y principalmente las encontramos en músculos juveniles y fetales siendo escasas en adultos (Essén-Gustavsson *et al.*, 1980; Andrews and Spurgeon, 1986).

Para la determinación de la composición muscular se realiza una biopsia del músculo *Gluteus medius* porque interviene en todas las intensidades de ejercicio (Lindholm and Piehl, 1974). La diferenciación de los diferentes tipos de fibras se realiza mediante técnicas histoquímicas según el patrón de tinción con al técnica mATPasa (Dubowitz, 1985).

Se han realizado distintos estudios que demuestran que la composición miofibrilar de los músculos equinos adultos de diferentes razas se modifica de forma diferente frente a un mismo tipo de entrenamiento (Rivero *et al.*, 1995). De este modo, en equinos que tienen un buen rendimiento en competiciones de resistencia se encuentra que hay mayor proporción de fibras Tipo I y IIA (López-Rivero y Serrano, 1998).

El porcentaje de cada tipo de fibra también varía con la profundidad. Así, en las regiones profundas del músculo hay mayor proporción de tipo I (oxidativas) estando mejor dotadas para el mantenimiento postural y actividades de baja intensidad y larga duración, mientras que en las regiones superficiales hay mayor proporción de tipo IIB (no oxidativas), interviniendo éstas en la generación de fuerza propulsiva, rápida y de corta duración. La proporción de fibras Tipo IIA se mantiene más constante con la profundidad, aunque se ha demostrado que en caballos entrenados se incrementan a mayor profundidad (López-Rivero *et al.*, 1992).

4. Relación entre morfología y funcionalidad. Su importancia en la selección genética equina

LA CONFORMACIÓN-FUNCIONAL

Aunque la selección equina se basa principalmente en los resultados deportivos de los animales, la conformación y los movimientos tienen un papel importante en la valoración de los caballos en los concursos morfológicos. Sin embargo, el caballo de hoy es principalmente un atleta o un animal de trabajo, y su valor se determina en mayor medida por sus habilidades deportivas y la salud de sus extremidades. Actualmente se está poniendo más énfasis en la

conformación funcional y los movimientos, en lugar de en determinados detalles externos, con el objetivo de seleccionar caballos para las disciplinas atléticas (Bowling and Ruvinsky, 2000).

La conformación del caballo varía con la función que se espera que realice, de modo que, antes de procurar evaluar un caballo para el deporte, es importante saber qué tipo estamos buscando y cuál es su función ¿Salto, doma, velocidad, resistencia...? Aunque hay algunas variaciones de la conformación que son específicas para cada disciplina ecuestre, la mayoría de las cualidades deseables son comunes en todos los caballos de deporte. La eficacia biomecánica permite la facilidad del movimiento que, al mismo tiempo, reduce los traumatismos y aumenta la viabilidad del animal.

Para valorar la conformación, es importante situar al caballo sobre una superficie dura y lisa y seguir una secuencia de trabajo. Se deberá examinar al animal de frente, de perfil y desde atrás, siendo recomendable relacionar el estudio en estación con los movimientos del animal (Sala, 1999).

La cabeza y el cuello son importantes a la hora de determinar la habilidad atlética de un caballo, ya que los utiliza como timón y estabilizador. Para que un caballo esté bien balanceado, su cuello debe ser largo y sin grasa, con un tamaño de la cabeza en proporción con el resto del cuerpo. La cabeza debe unirse al cuello de manera que favorezca los movimientos amplios y la flexión, sin afectar a los cambios de aire (Lawrence, 2001). Se considera normal cuando el ángulo del cuello con la horizontal esté próximo a 45°, ya que en estas condiciones influencia favorablemente la dirección de la cabeza y de la espalda. El cuello recto favorece un paso elevado y elegante que, por el contrario, resulta inadecuado para el salto al no permitir un correcto empleo del cuello y de todo el balancín cefálo-raquidiano. Sin embargo, con el cuello en dirección horizontal, se sobrecarga el tercio anterior y el paso resulta poco distinguido (Mermillod, 1998).

Una cruz alta se considera favorable para la amplitud de los movimientos y la velocidad, ya que los ligamentos y músculos que unen el cuello al tórax se mueven libremente y el caballo muestra mejor flexibilidad, coordinación y energía. La brevedad relativa del dorso acompañada de una mayor longitud de la grupa es considerada un signo de belleza y de gran funcionalidad, por su alta relación con la aptitud para la velocidad, en cualquier tipo de caballo y particularmente en el de silla (Mermillod, 1998). La inclinación de la grupa tiene una fuerte correlación con la función del caballo (Koenen *et al.*, 1995; Langlois *et al.*, 1978). En teoría, la grupa de orientación horizontal es la más favorable para los caballos de velocidad porque mejora el ángulo de inserción de la musculatura

glútea y aumenta la longitud y amplitud de la contracción muscular. Una cierta inclinación de la grupa puede disminuir la extensión del movimiento, aumentando la intensidad de la contracción (potencia muscular), por lo que es útil en animales de salto de obstáculos.

En un ejemplar “perfecto”, las extremidades deben caer en línea recta (desde delante y desde atrás) y una línea vertical imaginaria debe cortar la extremidad en dos mitades iguales. De perfil, también se buscan líneas rectas para que las extremidades aguanten la carga del peso lo mejor posible.

La importancia de la conformación de las extremidades anteriores se evidencia al soportar la mayor parte del peso del animal (60-65%). En los animales para doma se busca preferentemente espaldas largas e inclinadas (Holmström *et al.*, 1990), ya que la mayor longitud determina un mayor arco de oscilación en torno al punto de suspensión, con evidentes ventajas para la amplitud del paso. Y su inclinación condiciona la libertad del movimiento delantero de la extremidad permitiendo la máxima amplitud de tranco. Sin embargo, una espalda corta, reduce la longitud del tranco y aumenta el impacto con el suelo (Lawrence, 2001).

Un brazo demasiado corto, con sus respectivos músculos cortos, hacen que la longitud del tranco sea corta, mientras que si es largo causa excesivo desgaste a la musculatura del hombro. La longitud del antebrazo es importante en la determinación de la amplitud del tranco. Una espalda larga, brazo corto, un antebrazo mas largo y una caña corta, permiten la máxima extensión del tranco (Lawrence, 2001).

El caballo ideal tiene una pierna larga y una caña corta, que favorece la máxima extensión del tranco. Para los herradores, es fundamental que la alineación de las falanges sea paralela a la línea de la muralla en las lumbres y a la línea que va desde los pulpejos hasta los talones. En un caballo “perfecto”, la muralla en las lumbres es tres veces más larga que en los talones (Sala, 1999).

LA MORFOLOGÍA COMO CRITERIO DE SELECCIÓN EN LOS PROGRAMAS DE CRÍA

Los rasgos fenotípicos son los que pueden ser observados y medidos, por ejemplo el funcionamiento y la conformación. En algunos casos el funcionamiento es relativamente fácil de medir (ganancias, velocidad, carga, etc.), aunque en numerosas ocasiones no existe una alta correlación entre los distintos controles de rendimientos utilizados para valorar una determinada aptitud. En el caso de

los rasgos conformacionales o morfológicos del caballo, el control de rendimientos se ha realizado tradicionalmente a partir de la valoración subjetiva de técnicos o jueces especialistas en una determinada raza.

En la cría de caballos, la conformación es más importante que en otras especies al ser un indicativo del rendimiento y la fortaleza del animal (Holmström *et al.*, 1990). Esta importancia ha sido puesta de manifiesto por distintos autores (Bruns *et al.*, 1978; Schwark *et al.*, 1988) al estimar los pesos económicos (en función de los precios de venta de los animales) de los parámetros que integran los índices de selección, en distintas razas equinas, donde la conformación y la capacidad de movimientos son los dos parámetros más importantes en la selección para doma. Así pues, los objetivos de cría y selección incluyen la conformación funcional y los movimientos como un objetivo para mejorar los parámetros relacionados con el rendimiento deportivo. Esto significa que la información relativa a la conformación es utilizada para la selección indirecta de los parámetros de rendimiento funcional (Koenen *et al.*, 2004). Por ello se puede considerar a la morfología como un objetivo de selección verdadero y propio, ya que se encuentra correlacionada con la mecánica del movimiento y con el rendimiento de los animales (Koenen *et al.*, 1995).

El estudio de la relación entre la conformación y la aptitud funcional constituye un campo tradicional de la crianza de caballo, y a través de la medida de la correlación que existe entre ambas se puede dar mayor importancia a los criterios de selección objetivos, disminuyendo los subjetivos (Mermillod, 1998). La inclusión de determinadas medidas cuantitativas de conformación (Calificación Morfológica Lineal) ha mejorado considerablemente el sistema tradicional de valoración de un caballo, al permitir una medida indirecta del rendimiento, especialmente de los movimientos montado (Holmström and Philipsson, 1993).

La selección en la cría de caballos está orientada a generar un producto con determinadas características estéticas, pero sobre todo con una conformación funcional para obtener mejores resultados en las pruebas deportivas en las que participe. Una selección indirecta de resultados deportivos, utilizando datos morfológicos, puede ser útil ya que estas presentan menor heredabilidad y pueden ser mejoradas solo a una edad avanzada. La eficacia de la selección indirecta del rendimiento depende de la variabilidad genética de los aspectos morfológicos y de la correlación genética entre la conformación y los resultados deportivos (Mermillod, 1998).

5. Calificación morfológica lineal en los esquemas de selección de las razas equinas españolas

NORMATIVA LEGAL

Tradicionalmente, el caballo ha jugado un papel muy importante en el ejército, como medio de transporte o de tracción, siendo su papel en la agricultura también fundamental. Pero desde que este animal fue sustituido por los vehículos, perdió toda su importancia quedando relegado para actividades de ocio y deporte, aunque continuó siendo gestionado por el Ministerio de Defensa en España.

Tras la promulgación del Real Decreto 1133/2002, por el cual el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) regulaba el ámbito de las razas equinas, el régimen jurídico de los libros genealógicos, las asociaciones de criadores y las características zootécnicas de las distintas razas, el sector equino comenzó a considerarse como un sector ganadero más.

a) Marco regulador del sector equino

Dentro del Plan de Ordenación y Fomento del Sector Equino Español instaurado en el año 2004 se ha desarrollado un importante volumen de legislación a nivel nacional y autonómico, que afecta al desenvolvimiento de las ganaderías (Marqués de la Motilla, 2005). Este desarrollo legislativo evidencia la apuesta del MAPA por el desarrollo de este sector, poniendo los instrumentos legales y financieros necesarios en manos de los ganaderos y las asociaciones de criadores (Escribano, 2005).

A nivel europeo, se han legislado las normas sanitarias y zootécnicas para el movimiento de équidos en actividades de importación-exportación, el control de enfermedades de declaración obligatoria y la protección de los animales durante su transporte (TRAGSEGA, 2003).

En nuestro país, el mayor desarrollo legislativo para la regularización del sector equino se alcanzó tras la publicación del Real Decreto 1133/2002 que ha servido de marco general de referencia para el resto de legislación publicada.

De él se derivaron, además de las órdenes por las que se establecen las normas zootécnicas para cada una de las razas oficialmente reconocidas, una serie de órdenes para regular los distintos aspectos importantes para este sector.

b) Requisitos básicos de los Esquemas de Selección y los Controles de Rendimientos de razas equinas españolas

De manera específica, la Orden APA/1018/2003, de 23 de abril, establece los requisitos básicos de los Esquemas de Selección y Controles de Rendimientos para la evaluación genética en équidos en España.

Su principal objetivo es favorecer la valoración genética de los équidos españoles con el fin de facilitar el diseño de los acoplamientos entre reproductores que permitan la obtención del máximo progreso genético y un aumento de la competitividad de nuestras razas.

En ella se establecen las distintas etapas de las que se compone un Esquema de Selección, determinando los Controles de Rendimientos que se pueden utilizar para establecer las categorías de:

- **Joven Reproductor Recomendado:** Se obtiene a partir de la valoración de los animales en función de sus propios resultados obtenidos a edades tempranas. Estos animales deberán cumplir una serie de requisitos mínimos (de resultados y fiabilidad de las observaciones) establecidos específicamente en el Plan de Mejora de cada una de las razas. Con esta categoría se pretende incentivar la utilización de nuevos reproductores a edades tempranas, para poder realizar una valoración genética precoz de los individuos.
- **Reproductor Mejorante:** Para obtener esta categoría los animales deben ser valorados genéticamente en función de sus propios resultados y/o los de sus colaterales (animales relacionados) para cada una de las clases establecidas dentro de los Esquemas de Selección, obteniendo un valor genético superior a la media poblacional y que supere la fiabilidad mínima establecida para cada raza. Son animales testados genéticamente.
- **Reproductor Élite:** Las condiciones necesarias para obtener esta categoría varían en función de cada Programa de Mejora. Es imprescindible que los animales tengan 7 ó más años de edad y superen la media poblacional (con una fiabilidad adecuada) en la valoración genética.

Los Controles de Rendimientos reconocidos aportan y/o completan la información necesaria para la Valoración Genética de los animales y deben estar convenientemente recogidos en el Esquema de Selección de cada una de las razas. Los controles pueden desarrollarse en:

- **Laboratorios y Centros de Locomoción Equina.** Permiten la valoración funcional indirecta de animales jóvenes, complementando los resultados obteni-

dos en las pruebas funcionales. El estudio se compone de una parte cinemática y otra fisiológica.

- **Centros de Testaje, Estaciones de Prueba y Centros de Alto Rendimiento.** Permiten la comparación directa de animales que conviven bajo un ambiente común prefijado, de manera que las diferencias observadas entre ellos son básicamente de tipo genético. En ellos se evalúan caracteres con heredabilidades bajas, relacionados con la reproducción, la morfología, el comportamiento y las aptitudes para la monta.
- **Pruebas de Selección de Caballos Jóvenes.** Son pruebas de selección homologadas para animales de 4 a 7 años (en función de la disciplina), creadas como herramientas específicas dentro de cada Esquema de Selección. Permiten la recogida completa y en el formato adecuado de la información, facilitando el seguimiento de la capacidad de transmisión genética de los caracteres deportivos, con el fin de culminar el proceso selectivo.
- **Concursos morfológicos e hípicos.** Los concursos deben fijar previamente las condiciones mínimas que deben cumplir para garantizar su objetividad y posibilidades de utilización.

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CALIFICACIÓN MORFOLÓGICA LINEAL: METODOLOGÍA DE TRABAJO

La **Orden APA/ 1018/ 2003**, de 23 de abril, establece que todas aquellas razas equinas españolas que quieran ser valoradas genéticamente por su morfología deben incorporar en su Programa de Mejora el sistema de **Calificación Morfológica Lineal** (Gómez *et al.*, 2005).

Este sistema permite seleccionar los animales en función de sus características **morfofuncionales** (morfología orientada a una funcionalidad determinada), gracias a las correlaciones existentes entre cada uno de los rasgos evaluados linealmente y la aptitud específica de cada raza. Asimismo, cada ganadero puede seleccionar el animal que corrija un determinado defecto existente en su ganadería, en función del Valor Genético obtenido para cada variable morfológica valorada (Gómez *et al.*, 2005).

a) Modelo de la ficha de Calificación Morfológica Lineal

El diseño de una ficha de Calificación Morfológica Lineal específica para una raza se realiza siempre en base a un **estudio zoométrico completo** de un número representativo de individuos de la población.

Conociendo de antemano qué características morfológicas pueden estar relacionadas con el rendimiento adecuado para una disciplina determinada, se pre-seleccionan un amplio grupo de medidas zoométricas que serán estudiadas individualmente sobre un mínimo de 150 animales, seleccionados asegurando que todas las variantes o líneas existentes dentro de la raza estén convenientemente representadas.

Tras la recogida de la información en campo, se realiza un **estudio genético-estadístico** de las variables con los siguientes objetivos:

- **Caracterización morfoestructural.** Mediante la interpretación de los resultados obtenidos en el estudio estadístico de las variables, separadas por sexos.
- **Preselección de las variables a incluir en la ficha.** En función del nivel de variabilidad existente en la población y los valores de heredabilidad obtenidos (porcentaje del total de variación entre animales para un rasgo en particular que se debe a los genes que han heredado). Para reducir el número de variables se evidencian las relaciones existentes entre ellas mediante pruebas específicas (correlaciones fenotípicas y genéticas –relación existente entre el valor genético de un determinado carácter y el valor genético para otro carácter en el mismo animal, pudiendo ser positiva o negativa–, análisis de componentes principales...). En la selección de las variables definitivas se aplican criterios de tipo: económico (rasgos relacionadas con el valor del animal en el mercado), funcional (relacionados con el rendimiento del animal en una disciplina determinada), genético (rasgos con suficiente heredabilidad y variabilidad, que garanticen la rápida mejora de la población) y metodológico (rasgos simples y fáciles de calificar, que garanticen la objetividad de las observaciones).
- **Determinación de los extremos.** Se busca definir objetivamente los límites de cada clase definida para cada rasgo. Aunque el calificador **debe ser capaz de clasificar** cada rasgo (pe. Longitud del cuello) dentro de las diferentes clases propuestas (pe. Muy corto, corto, medio, largo y muy largo) sin necesidad de medirlo directamente sobre el animal. Son valores indicativos que facilitan la formación y entrenamiento de los calificadores.
- **Diseño de índices morfológicos.** Se realiza mediante ponderaciones del valor genético de determinados caracteres agrupados por sus correlaciones con otros caracteres morfológicos y/ o funcionales.

Una vez diseñada la ficha, esta debe ser testada en el campo por un equipo de calificadores antes de que la información que de ella se derive se utilice en la

Valoración Genética de los animales. Es importante ajustar el número de clases a aquellas que el calificador es capaz de diferenciar de forma efectiva y fiable. Durante esta etapa se evalúa la propia ficha, no los animales sobre los que se utiliza, formando parte del análisis del sistema y el preentrenamiento de los calificadores.

b) Parámetros genéticos de las variables lineales

El interés principal del desarrollo de este sistema de calificación de la morfológica radica en las características de la información que genera, ya que permiten utilizar los datos para la Valoración Genética de los animales por su morfología. Thompson *et al.* (1981) recomendó la recogida de la información morfológica en una escala lineal frente a la valoración de los animales en relación a un ideal, ya que el sistema lineal mide más variación genética, las heredabilidades de las variables lineales son significativamente mayores y las correlaciones entre ellas se interpretan fácilmente.

Aunque se ha demostrado que la complejidad de los rasgos valorados y la experiencia de los calificadores condicionan la heredabilidad (Thompson *et al.*, 1983), siendo inferior para los rasgos combinados que para la media de cada uno de los rasgos simples (Veerkamp *et al.*, 2002) y ayudando la experiencia a disminuir la variación residual.

c) Validación del sistema y los calificadores

Los sistemas de Calificación Morfológica Lineal no son estáticos. Las poblaciones animales evolucionan, y las fichas también deben hacerlo. Los cambios que se producen en las fichas se realizan en base a los procesos constantes de validación del sistema y de los calificadores y a la concreción de los objetivos de crianza.

El entrenamiento y validación de los calificadores debe ser constante para asegurar la consistencia y uniformidad de sus calificaciones (Janssens and Vandepitte., 2004), y que posean las características necesarias para su empleo en la estimación del valor de cría de los individuos.

Para la validación del sistema y los calificadores se estiman una serie de parámetros como son:

- **Estudio estadístico completo** de los rasgos incluidos en la ficha de Calificación Morfológica Lineal y las medidas zoométricas estudiadas paralelamente.

- La **desviación estándar** por calificador permite la medida del uso de la escala por parte de este (van Steenbergen, 1989).
- El **coeficiente de variación de cada rasgo** mide la consistencia asignada a cada carácter (el carácter más consistente es el que menos varía).
- El **coeficiente de variación entre las calificaciones** de los distintos calificadores (compara las calificaciones de un rasgo en un mismo animal por los distintos calificadores) indica el grado de homogeneidad de criterios existente entre ellos.
- El **análisis de las medias mínimo cuadráticas** para cada variable corregidas por el calificador evidencia las variaciones causadas por estos (Aitchison *et al.*, 1972).
- La **repetibilidad** mide la relación entre dos observaciones de un mismo animal realizadas por un mismo calificador, lo que equivale a una correlación intra-calificador. La **reproductibilidad** mide el grado de correspondencia entre dos calificaciones realizadas por dos calificadores diferentes sobre un mismo animal, lo que equivale a una correlación inter-calificador. Las diferencias entre estos dos parámetros se deben a la interacción calificador-animal (van Steenbergen, 1989).
- **Estudio de la distribución de frecuencias** de las clases en cada rasgo permite conocer el número de clases utilizadas, la moda (clase más repetida), la mediana (percentil 50, clase que deja el 50% de la población a cada uno de sus lados)...
 - El análisis del rango de clases utilizado por los calificadores muestra la tendencia de cada calificador a utilizar todas las clases de la escala, incluidos los extremos o sólo las centrales (van Steenbergen, 1989).
 - El estudio comparativo de las distribuciones por calificador evidencia el nivel solapamiento entre las calificaciones y/o la tendencia a valorar por encima o por debajo de la media.
- **Pruebas estadísticas específicas** para el estudio de las variables.
 - El **análisis de las correlaciones fenotípicas entre las variables** morfológicas se utiliza para examinar la estructura de las observaciones y ver qué parámetros pueden ser omitidos o agrupados (van Steenbergen, 1989).
 - **Las correlaciones entre las variables morfológicas y los datos de rendimiento** permiten la selección de las variables más relacionadas con la funcionalidad que persigue cada raza (Aitchison *et al.*, 1972).

- **El análisis de componentes principales** permite reducir el número de caracteres lineales a un menor número de factores independientes que agrupan los caracteres externos (van Steenberg, 1989) conduciendo a una interpretación más concreta de otros análisis (Sieber *et al.*, 1987).
- **El análisis de la varianza** determina los efectos no-genéticos significativos para cada variable (Janssens and Vandepitte, 2004). Informa sobre los factores que condicionan la calificación de los animales y que deben incluirse en el modelo de valoración genética (Thompson *et al.*, 1983). En general, los efectos ambientales que resultan significativos para las variables lineales lo son también para las medidas zoométricas (Lucas *et al.*, 1984).
- **Las regresiones simples** de las medidas zoométricas en las puntuaciones lineales se utilizan para estimar los cambios de cada medida para cada clase en la escala lineal (Vinson *et al.*, 1982).
- **Estimación de parámetros genéticos.** Veerkamp *et al.* (2002) utilizan los parámetros genéticos para evaluar la precisión y exactitud de la información recogida, aunque su conocimiento también es necesario para la estimación del valor genético de los animales con fines selectivos.
 - La **heredabilidad** muestra la correlación observada entre animales emparentados como una proporción de la correlación que podría encontrarse si toda la varianza fuera genética aditiva. Por ello, la heredabilidad estimada dentro de calificador puede utilizarse como criterio de repetibilidad de sus puntuaciones (Veerkamp *et al.*, 2002).
 - La **correlación genética** entre calificaciones de diferentes calificadores puede utilizarse como medida de la repetibilidad entre ellos (Veerkamp *et al.*, 2002). Además, las correlaciones genéticas entre los rasgos evidencian las relaciones genéticas entre ellos.

CALIFICACIÓN MORFOLÓGICA LINEAL EN LOS ESQUEMAS DE SELECCIÓN DE RAZAS EQUINAS ESPAÑOLAS

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.

En la actualidad existen 6 razas equinas autóctonas que incluyen el desarrollo y puesta a punto de este sistema en su Esquema de Selección, son caballos de

Pura Raza Española, Pura Raza Árabe, Caballo de Deporte Español, Pura Raza Menorquina, Trotador Español e Hispano-árabe.

Únicamente en las tres primeras se ha comenzado a trabajar activamente en este Control de Rendimientos morfológicos, siendo el Caballo de Pura Raza Español el que más avanzado lleva esta labor.

En función de la información que se recoge mediante la Calificación Morfológica Lineal, los animales pueden optar a dos categorías dentro de los Esquemas de Selección. Si son valorados positivamente en función de sus propios resultados obtendrán la categoría de Jóvenes Reproductores Recomendados, y si se valoran positivamente en función de sus resultados y los de sus colaterales obtendrán la categoría de Reproductores Mejorantes.

Bibliografía

Aitchison, T.E.; Freeman, A.E. y Thomson, G.M. (1972): "Evaluation of a Type Appraisal Program in Holsteins". *Journal of Dairy Science*, 55 (6): 840-844.

Andrews, F.M. y Spurgeon, T.L. (1986): "Histo-chemical staining characteristics of normal horse skeletal muscle". *American Journal of Veterinary Research*, 47 (8): 1843-1852.

Barrey, E.; Hermelin, M.; Vaudelin, J.L.; Poirel, D. y Valette, J.P. (1994): "Utilisation of an accelerometrix device in equine gait". *Equine Veterinary Journal Supplement*, 17: 7-12.

Barrey, E. (1999): "Methods, Applications and Limitations of Gaits Analysis in Horses". *The Veterinary Journal*, 157: 7-22.

Barrey, E.; Desliens, F.; Poirel, D.; Biau, S.; Lemaire, S.; L-Rivero, J.L. y Langlois, B. (2002): "Early evaluation of dressage ability in different breeds. Equine Exercise Physiology 6". *Equine Veterinary Journal Supplement*, 34: 319-324.

Bowling, A.T. y Ruvinsky, A. (2000): *The genetics of the horse*. CABI Publishing. UK.

Bruns, E.; Bierbaum, M.; Frese, D. y Haring, H.J.F. (1978): "Die Entwicklung von Selektions-kriterien für die Reitpferdezucht. IV. Schätzung relativer ökonomischer Gewichte anhand von Auktionsergebnissen". *Züchtungskunde*, 50: 93-100.

Cano, M.R.; Vivo, J.; Miró, F.; Morales, J.L. y Galisteo, A.M. (2001): "Kinematic characteristics of Andalusian, Arabian and Anglo-Arabian horses: a comparative study". *Research in Veterinary Science*, 71: 147-153.

Cárdenas, M.A. (2005): *Página web de la Ganadería de Pura Raza Español de Cárdenas*. (<http://www.caballoscardenas.com/>).

Clayton, H. y Schamhardt, H. (2000): *Measurements Techniques for Gait Analysis*. In: *Equine Locomotion*. Ed. W. Back and H. Clayton. W.B Saunders London. UK., pp. 55-76.

Dubowitz, V. (1985): *Muscle biopsy: A practical approach*. 2nd ed., Baillière Tindall, London.

Edwards, E.H. (1992): *El gran libro del caballo*. Ed. El País/Aguilar, 9.

Escribano Mora, C. (2005): *El caballo de Pura Raza Española en el siglo XXI*. Foro de opinión, El caballo Español. V Jornadas Ecuestres.

Essen-Gustavsson, B.; Lindholm, A. y Thornton, J. (1980): "Histochemical properties of muscle fibre types and enzyme activities in skeletal muscles of Standardbred trotters of different ages". *Equine Veterinary Journal*, 12 (4): 175-180.

Galloux, P.; Richard, N.; Dronk, T.; Leard, M.; Perrot, A.; Jouffroy, J.L. y Cholet, A. (1994): "Analysis of equine gait using three-dimensional accelerometers fixed on the saddle". *Equine Veterinary Journal Supplement*, 17: 44-47.

Gómez, M.D.; Cervantes, I.; Valera, M. y Molina, A. (2005): "Calificación Morfológica Lineal en el caballo de Pura Raza Española". *El Caballo Español*, 2: 70-79.

Holmström, M.; Magnusson, L.E. y Philipsson, J. (1990): "Variation in conformation of Swedish Warmblood horses and conformational characteristics of élite sport horses". *Equine Veterinary Journal*, 22 (3): 186-193.

Holmström, M. y Philipsson, J. (1993): "Relationship between conformation, performance and health in 4-year-old Swedish Warmblood Riding Horses". *Livestock Production Science*, 33: 293-312.

Holmström, M.; Fredicson, I. y Drevemo, S. (1994): "Biokinematic differences between riding horses with good and poor trot". *Equine Veterinary Journal Supplement*, 17: 51-56.

Janssens, S. y Vandepitte, W. (2004): "Genetic parameters for body measurements and linear type traits in Belgian Bleu du Maine, Suffolk and Texel sheep". *Small Ruminant Research*, 54: 13-24.

Koenen, E.P.; Van Veldhuizen, A.E. y Brascamp, E.W. (1995): "Genetic parameters of linear scored conformation traits and their relation to dressage and show jumping performance in the Dutch Warmblood Riding Horse population". *Livestock Production Science*, 43: 85-94.

Koenen, E.P.; Aldridge, L.I. y Philipsson, J. (2004): "An overview of breeding objectives for warmblood sport horses". *Livestock Production Science*, 88: 77-84.

Langlois, B.; Froidevaux, J.; Lamarche, L.; Legault, C.; Laguault, P.; Tassencourt, L. y Theret, M. (1978): "Analyse des liaisons entre la morphologie et l'aptitude au galop au trot et au saut d'obstacles chez le cheval". *Annales de Genetique et de Selection Animale*, 10 (3): 443-474.

Lawrence, L.A. (2001): *Horse Conformation Analysis*. Ed. Washington State University Extension. USA. 12 pp.

Lindholm, A. y Piehl, K. (1974): "Fibre composition, enzyme activity and concentration of metabolites and electrolytes in muscles of Standardbred horses". *Acta Veterinaria Scandinava*, 15: 287-309.

López-Rivero, J.L.; Serrano, A.; Diz, A. y Galisteo, A.M. (1992): "Variability of muscle fibre composition and fibre size in the horse Gluteus medius: an enzyme-histochemical and morpho-metric study". *Journal of Anatomy*, 181: 1-10.

López-Rivero J.L. y Serrano, A. (1998): "Composición fibrilar del músculo Gluteus medius en equinos con distinto historial en carreras de resistencia". *Archivos de Medicina Veterinaria*, 30 (1): 115-123.

Lucas, J.L.; Pearson, R.E.; Vinson, W.E. y Johnson, L.P. (1984): "Experimental Linear Descriptive Type Classification". *Journal of Dairy Science*, 67: 1767-1775.

Marlin, D. y Nankervis, K. (2002): *Equine exercise physiology*. Ed. Blackwell Science Ltd. UK., pp. 94-126.

Marqués de la Motilla (2005): *El caballo de Pura Raza Española en el siglo XXI*. Foro de opinión. El caballo Español. V Jornadas Ecuestres.

Mawdsley, A.; Kelly, E.P.; Smith, F.H. y Brophy, P.O. (1996): "Linear assessment of the Thoroughbred horse: an approach to conformation evaluation". *Equine Veterinary Journal*, 28 (6): 461-467.

Mermillod, Jean-Louis (1998): *Approccio alla valutazione morfologica lineare del cavallo sella italiano*. Tesi di laurea. Università degli studi di Perugia. Facoltà di medicina veterinaria. Istituto di Produzioni Animali.

Rivero, J.L.; Ruz, M.C. y Serrano, A. (1995): "Effects of a 3 month endurance training programme on skeletal muscle histochemistry in Andalusian, Arabian and Anglo-Arabian horses". *Equine Veterinary Journal*, 27: 51-59.

Rivero, J.L. y Barrey, E. (2001): "Heritabilities and genetic and phenotypic parameters for gluteus medius muscle fibre type composition, fibre size and capillaries in purebred Spanish horses". *Livestock Production Science*, 55 (3): 233-241.

Ronés, M.; Lindholm, A. y Asheinm, A. (1991): "Muscle characteristics in Thoroughbreds of different ages and sexes". *Equine Veterinary Journal*, 23 (3): 207-210.

Sala, M. (1999): "Página web de EKI Formación: Morfología y Funcionalidad". *Boletín del Herraaje* N° 1. (<http://www.eki.es>).

Schwark, H.J.; Petzold, P. y Nörenberg, I. (1988): "Untersechungen zu Auswahl von Selektionkriterien bei der Weiterentwicklung der Pferdezucht der DDR". *Arch. Tierz., Berlin*, 31: 279-289.

Sieber, M.; Freeman, A.E. y Hinz, P.N. (1987): "Factor analysis for evaluating relationships between first lactation type scores and production data of Holstein dairy cows". *Journal of Dairy Science*, 70 (5): 1018-1026.

TRAGSEGA (2003): *Página web del Estudio de caracterización del sector equino en España* (<http://www.mapa.es/app/Equino/Informacion/Infsector.aspx?lng=es>).

Thompson, J.R.; Freeman, A.E.; Wilson, D.J.; Chapin, C.A.; Berger, P.J. y Kuck, A. (1981): "Evaluation of a Linear Type Program in Holsteins". *Journal of Dairy Science*, 64 (7): 1610-1617.

Thompson, J.R.; Lee, K.L.; Freeman, A.E. y Jonson, L.P. (1983): "Evaluation of a Linearized Type Appraisal System for Holstein Cattle". *Journal of Dairy Science*, 66: 325-331.

Van Steenbergen, E.J. (1989): "Description and Evaluation of a Linear Scoring System for Exterior Traits in Pigs". *Livestock Production Science*, 23: 163-181.

Veerkamp, R.F.; Gerritsen, C.; Koenen, E.; Hamoen, A. y De Jong, G. (2002): "Evaluation of Classifiers that Score Linear Type Traits and Body Condition Score using Common Sires". *Journal of Dairy Science*, 85: 976-983.

Vinson, W.E.; Pearson, R.E. y Johnson, L.P. (1982): "Relationship between linear descriptive type traits and body measurements". *Journal of Dairy Science*, 65: 995-1003.