

ADAPTACIONES CARDIORRESPIRATORIAS, MUSCULARES Y METABÓLICAS ASOCIADAS A LA PRÁCTICA DE DISTINTAS DISCIPLINAS ECUESTRES EN EL CABALLO DEPORTIVO

Cardiorespiratory, muscular, and metabolic adaptations associated with the practice of different equestrian disciplines in the sport horse

Lozano Fuentes, M.*; Alonso de la Varga, M.; Lomillos Pérez, J.M.

Departamento de Producción y Sanidad Animal, Salud Pública Veterinaria y Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Facultad de Veterinaria Universidad Cardenal Herrera CEU (España)

***Autor de correspondencia: Marta Lozano Fuentes**

Tipo de trabajo: Revisiones

Recibido: 03/03/2026

Aceptado: 18/06/2026

RESUMEN

El caballo deportivo moderno ha evolucionado desde su función tradicional como animal de trabajo hasta convertirse en un atleta altamente especializado, como consecuencia de la selección genética, el entrenamiento sistematizado y la optimización nutricional. La participación en distintas disciplinas ecuestres implica respuestas fisiológicas específicas que condicionan el rendimiento, la capacidad de recuperación y el bienestar del animal. El objetivo de esta revisión es analizar de forma integrada las adaptaciones cardiorrespiratorias, musculares y metabólicas inducidas por el ejercicio en el caballo deportivo, así como los principales factores que modulan dichas respuestas.

Se realizó una revisión narrativa estructurada de la literatura científica publicada principalmente en los últimos 30 años, utilizando bases de datos internacionales (*PubMed*, *Scopus*, *Web of Science* y *ScienceDirect*). Se incluyeron estudios originales, revisiones y reportes clínicos que evaluaran parámetros fisiológicos, hematológicos, bioquímicos, enzimáticos y hormonales en caballos deportivos sanos sometidos a diferentes modalidades de ejercicio.

Los resultados muestran que el ejercicio induce respuestas agudas caracterizadas por incrementos de la frecuencia cardíaca, la frecuencia respiratoria y la temperatura corporal, necesarios para satisfacer las demandas metabólicas del esfuerzo. Paralelamente, los cambios en parámetros hematológicos y bioquímicos, como hematocrito, hemoglobina, lactato y creatina quinasa, reflejan la intensidad y el tipo de metabolismo energético predominante. Las distintas disciplinas presentan patrones adaptativos diferenciados: el salto se asocia a esfuerzos breves y de alta intensidad, las carreras a respuestas cardiovasculares y hematológicas más pronunciadas, y el raid a alteraciones metabólicas y del equilibrio ácido-base propias del ejercicio prolongado. Estas respuestas están moduladas por factores intrínsecos y extrínsecos.

En conclusión, la monitorización integrada de parámetros fisiológicos y bioquímicos constituye una herramienta fundamental para optimizar el entrenamiento, prevenir lesiones y garantizar el bienestar del caballo deportivo.

Palabras clave: fisiología del ejercicio, entrenamiento, hematología, equino, rendimiento.

ABSTRACT

The modern sport horse has evolved from its traditional role as a working animal into a highly specialized athlete as a result of genetic selection, structured training programs, and optimized nutrition. Participation in different equestrian disciplines elicits specific physiological responses that directly influence performance, recovery capacity, and overall welfare. The aim of this review is to provide an integrated analysis of the cardiorespiratory, muscular, and metabolic adaptations induced by exercise in the sport horse, as well as the main factors modulating these responses.

A structured narrative review of the scientific literature published primarily over the last 30 years was conducted using international databases including PubMed, Scopus, Web of Science, and ScienceDirect. Original studies, reviews, and clinical reports evaluating physiological, hematological, biochemical, enzymatic, and hormonal parameters in healthy sport horses subjected to different exercise modalities were included.

The findings indicate that exercise induces acute physiological responses characterized by increases in heart rate, respiratory rate, and body temperature, which are essential to meet the metabolic demands of physical activity. Concurrent changes in hematological and biochemical parameters, such as hematocrit, hemoglobin, lactate, and creatine kinase, provide objective indicators of exercise intensity and the predominant energy metabolism. Distinct equestrian disciplines generate discipline-specific adaptive patterns: show jumping is associated with short-duration, high-intensity efforts; racing elicits more pronounced cardiovascular and hematological responses; whereas endurance riding leads to marked metabolic and acid–base alterations due to prolonged exertion. These responses are modulated by intrinsic and extrinsic factors.

In conclusion, integrated monitoring of physiological and biochemical parameters is essential for optimizing training strategies, preventing exercise-related injuries, and safeguarding the health and welfare of the sport horse.

Keywords: exercise physiology, training, hematology, equine, performance

INTRODUCCIÓN

La domesticación del caballo (*Equus caballus*) se remonta aproximadamente a hace 5000–6000 años, momento a partir del cual esta especie desempeñó un papel fundamental en el desarrollo de las civilizaciones humanas, particularmente en la agricultura, el transporte y los conflictos bélicos (Chamberlin, 2006; Taylor,

2025). Con el paso del tiempo, los procesos de selección y mejora genética, orientados a cubrir necesidades funcionales específicas, dieron lugar a la aparición de diversas razas adaptadas a distintas tareas, desde el trabajo agrícola y el transporte de mercancías hasta la actividad deportiva (López Balmaceda y Moncada Durán, 2022). En la actualidad, el caballo deportivo ha adquirido un protagonismo destacado, rele-

gando en gran medida otros usos tradicionales y consolidándose como un atleta altamente especializado.

Deraga (2007) apunta que, el caballo deportivo moderno participa en una amplia variedad de disciplinas ecuestres, entre las que se incluyen la doma clásica y vaquera, el salto, las carreras, el raid o *endurance*, el enganche, el polo y el horseball, cada una de ellas caracterizada por exigencias físicas, metabólicas y biomecánicas específicas. Según el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2023), la creciente popularidad de estas disciplinas a nivel internacional ha impulsado una notable inversión en la cría, selección genética, entrenamiento y manejo sanitario de los caballos deportivos, lo que ha incrementado significativamente su valor económico y la necesidad de optimizar su rendimiento y bienestar.

En este contexto, la evaluación del estado físico del caballo deportivo y de su capacidad de adaptación al ejercicio resulta esencial para el diseño de programas de entrenamiento adecuados y para la prevención de lesiones y alteraciones fisiopatológicas asociadas al esfuerzo (Gómez *et al.*, 2004; Bartolomé *et al.*, 2013; Ohmura *et al.*, 2013; Stefánsdóttir *et al.*, 2014). El estudio de las respuestas fisiológicas inducidas por el ejercicio incluye la monitorización de constantes vitales en reposo, durante la actividad (cuando es posible) y en la fase de recuperación, tales como la frecuencia cardíaca (FC), la frecuencia respiratoria (FR), la temperatura corporal (T) y el estado de hidratación. Estos parámetros proporcionan información clave sobre la funcionalidad de los sistemas cardiovascular y respiratorio, así como sobre el grado de adaptación del animal a las demandas específicas de cada disciplina ecuestre y su capacidad de recuperación post-ejercicio (Snow *et al.*, 1985; Hyypä y Pösö, 1998; Gómez *et al.*, 2004; Arias Gutiérrez y Pérez Jaramillo, 2006; Stefánsdóttir *et al.*, 2014).

Asimismo, el análisis de enzimas musculares constituye una herramienta fundamental

en la fisiología del caballo deportivo. Entre ellas, la creatina quinasa (CK) y la aspartato aminotransferasa (AST) son especialmente relevantes, ya que su incremento en sangre se asocia principalmente a daño muscular, necrosis o alteraciones en la permeabilidad de las fibras musculares, procesos que pueden aparecer como consecuencia del ejercicio intenso o inadecuadamente planificado (Tyler-McGowan *et al.*, 2010; Bohák *et al.*, 2018). De manera complementaria, la evaluación de parámetros hematológicos afectados por el esfuerzo físico, como el recuento de glóbulos rojos (GR), hematocrito (HTO), hemoglobina (HB), leucocitos (LEUC), linfocitos (LINF), proteínas totales (PT) y albúmina (ALB), permite obtener información adicional sobre la respuesta orgánica al ejercicio, el estado de hidratación y el nivel de estrés fisiológico del animal (Tyler-McGowan *et al.*, 2010; Burlikowska *et al.*, 2015; Ringmark *et al.*, 2015; Zuluaga-Cabrera *et al.*, 2022).

En este trabajo se presenta una revisión de los principales efectos fisiológicos del ejercicio en el caballo deportivo, integrando evidencia procedente de estudios originales, revisiones bibliográficas y reportes de casos, con el objetivo de ofrecer una visión global de las adaptaciones cardiorrespiratorias, musculares y metabólicas asociadas a las distintas disciplinas ecuestres.

El objetivo de esta revisión es analizar de forma integrada las adaptaciones fisiológicas inducidas por el ejercicio en el caballo deportivo, considerando los cambios cardiorrespiratorios, hematológicos, bioquímicos y hormonales asociados a distintas disciplinas ecuestres. Asimismo, se evalúa la utilidad de diversos biomarcadores como indicadores del estado fisiológico, la carga de trabajo y el estrés derivado del ejercicio, así como la influencia de factores intrínsecos del animal, entre ellos la edad, el sexo, la raza y el nivel de entrenamiento. Finalmente, se identifican las principales limitaciones y lagunas de conocimiento existentes en la literatura científica actual.

METODOLOGÍA DE LA REVISIÓN

La presente revisión se realizó siguiendo un enfoque de revisión narrativa estructurada, con el objetivo de sintetizar la evidencia científica disponible sobre las adaptaciones cardiorrespiratorias, musculares y metabólicas asociadas al ejercicio en el caballo deportivo, y su relevancia en el rendimiento, el entrenamiento y el bienestar animal.

La búsqueda bibliográfica se llevó a cabo en bases de datos científicas internacionales, incluyendo *PubMed*, *Scopus*, *Web of Science* y *ScienceDirect*, así como en revistas especializadas en fisiología y medicina deportiva equina. De forma complementaria, se revisaron las referencias bibliográficas de los artículos seleccionados con el fin de identificar estudios adicionales de interés.

Se emplearon términos clave combinados entre los que se incluyeron: *horse*, *sport horse*, *equine exercise*, *exercise physiology*, *cardiorespiratory response*, *hematological parameters*, *biochemical parameters*, *endurance*, *show jumping*, *racehorses*, *training*, *stress*, *cortisol* y *acid-base balance*. La búsqueda se realizó en inglés y español.

Se incluyeron estudios originales, revisiones bibliográficas y reportes de casos clínicos relacionados con la fisiología del ejercicio en caballos deportivos, que evaluaran la variación de parámetros fisiológicos, hematológicos, bioquímicos, enzimáticos y hormonales, ya bien en sangre o en saliva como respuesta al ejercicio o al entrenamiento. Se consideraron trabajos realizados en caballos sanos destinados a disciplinas deportivas como salto, carreras, raid, doma y otras modalidades ecuestres. Se priorizaron artículos publicados principalmente en los últimos 30 años por su relevancia científica y aplicabilidad clínica en total 67 trabajos.

Se excluyeron estudios realizados en especies distintas al caballo, artículos sin acceso al texto completo y trabajos que no aportaran información relevante sobre la respuesta fisiológica al ejercicio o que presentaran deficiencias metodológicas evidentes.

La selección de los artículos se efectuó mediante la revisión del título y resumen, seguida de la evaluación del texto completo cuando fue necesario. La información recopilada se organizó de acuerdo con las principales áreas temáticas abordadas en el manuscrito, incluyendo las respuestas cardiorrespiratorias, las alteraciones hematológicas y bioquímicas, los cambios hormonales, el equilibrio ácido-base, las determinaciones enzimáticas y los factores intrínsecos y extrínsecos que influyen en la fisiología del caballo deportivo.

Los estudios seleccionados se analizaron de forma comparativa, teniendo en cuenta la disciplina ecuestre, la intensidad y duración del ejercicio, el nivel de entrenamiento y las condiciones ambientales, con el fin de identificar patrones comunes y diferencias relevantes entre las distintas modalidades deportivas.

1. RESPUESTAS FISIOLÓGICAS AL EJERCICIO EN EL CABALLO

1.1. Adaptaciones cardiorrespiratorias

Los parámetros fisiológicos registrados en caballos deportivos pre y post-ejercicio (FC, FR y T) en diferentes estudios clasificados por disciplinas se muestra en la tabla 1.

Los datos de la tabla 1 confirman que el ejercicio induce respuestas fisiológicas agudas en el caballo, cuya magnitud depende de la intensidad, duración y disciplina practicada (Butler *et al.*, 1993; Marlin *et al.*, 2002; Gómez *et al.*, 2004; Bartolomé *et al.*, 2013; Stefánsdóttir *et al.*, 2014; Fortier *et al.*, 2015; Goachet y Julliand, 2015; Hiraga y Sugano, 2016; Younes *et al.*, 2016; Verdegaaal *et al.*, 2021). Estas respuestas reflejan la activación del sistema simpático-adrenérgico, necesaria para satisfacer las demandas metabólicas del esfuerzo, facilitando un mayor aporte de oxígeno a la musculatura activa (Zuluaga-Cabrera *et al.*, 2022; Gómez *et al.*, 2004; Burlikowska *et al.*, 2015; Ringmark *et al.*, 2015). La evaluación conjunta de la frecuencia cardíaca, la frecuencia respiratoria y la

temperatura corporal permite valorar el rendimiento, el grado de adaptación al ejercicio y prevenir situaciones de sobreesfuerzo en caballos deportivos (Hyypä y Pösö, 1998; Gómez *et al.*, 2004; Bartolomé *et al.*, 2013; Stefánsdóttir *et al.*, 2014).

Tabla 1. Parámetros fisiológicos medios antes (A) y después (B) del ejercicio en diferentes deportes tomando datos de diferentes estudios (Butler *et al.*, 1993; Marlin *et al.*, 2002; Gómez *et al.*, 2004; Bartolomé *et al.*, 2013; Stefánsdóttir *et al.*, 2014; Fortier *et al.*, 2015; Goachet y Julliand, 2015; Ringmark *et al.*, 2015; Hiraga y Sugano, 2016; Younes *et al.*, 2016; Verdegaal *et al.*, 2021).

	FC (pul/min)		FR (resp/min)		T (°C)	
	A	B	A	B	A	B
SALTO	39.9-43.8	81.9-97.9	13.4	96.8	36.2	37.6
CARRERA	33.4-42.5	102.7-190	12.4-26	71.3-164	37.4-38.1	38.3-39.6
RAID	33.8-45	130-200	13.5-19	62-110	37.1-38.5	39-41

FC: Frecuencia Cardíaca; FR: Frecuencia respiratoria; T^a: Temperatura corporal.

1.1.1. Frecuencia cardíaca

La frecuencia cardíaca (FC) puede determinarse mediante palpación arterial, fonendoscopio, pulsómetros o mediante electrocardiografía, técnica que permite además la detección de alteraciones del ritmo cardíaco (Snow, 1985; Soares *et al.*, 2016; Frick *et al.*, 2019; Rashkovska *et al.*, 2020). La FC mantiene una relación lineal con la intensidad del ejercicio, por lo que constituye un indicador fiable de la carga de trabajo. En este contexto, los parámetros V150 y V200 se utilizan para estimar la capacidad de transporte de oxígeno y la capacidad aeróbica máxima del caballo,

respectivamente (Hamlin *et al.*, 20102; Ohmura *et al.*, 2013; Stefánsdóttir *et al.*, 2014; Másko *et al.*, 2021). El parámetro V150 se define como la velocidad a la que el caballo alcanza una frecuencia cardíaca de 150 latidos por minuto, y se considera un indicador de la forma física del animal en cuanto relación-eficiencia aeróbica y estado de entrenamiento, ya que valores más elevados reflejan una mejor capacidad para realizar ejercicio a intensidades moderadas con menor esfuerzo cardiovascular. Por su parte, V200 corresponde a la velocidad a la que el animal alcanza una frecuencia cardíaca de 200 latidos por minuto, y se utiliza como estimador de la capacidad aeróbica máxima o del umbral cercano al esfuerzo máximo, proporcionando información sobre el rendimiento cardiovascular en intensidades elevadas.

Tal como se muestra en la tabla 1, la FC aumenta de forma marcada tras el ejercicio en todas las disciplinas, alcanzando valores próximos o superiores a 190 latidos/minuto en pruebas de alta exigencia como las carreras y el raid. Este incremento responde a una adaptación fisiológica destinada a asegurar un adecuado aporte de oxígeno a la musculatura activa. En disciplinas de larga duración, como el raid, la FC puede mantenerse elevada hasta el final de la prueba, reflejando una elevada demanda cardiovascular y metabólica. La combinación de la FC con la concentración sanguínea de lactato permite evaluar la intensidad del ejercicio y diferenciar la contribución de los metabolismos aeróbico y anaeróbico al rendimiento físico (Gómez *et al.*, 2004; Stefánsdóttir *et al.*, 2014).

1.1.2. Frecuencia respiratoria

La frecuencia respiratoria (FR) se evalúa mediante observación directa o auscultación y aumenta de manera proporcional a la intensidad del ejercicio. Este incremento optimiza el intercambio gaseoso alveolar, favoreciendo la captación de oxígeno y la eliminación de dió-

xido de carbono para satisfacer las demandas metabólicas del esfuerzo (Gómez *et al.*, 2004; Stefánsdóttir *et al.*, 2014; de Mira *et al.*, 2021). La elevación de la FR constituye un mecanismo adaptativo que contribuye a retrasar la acumulación de lactato y a prevenir la acidosis metabólica.

De acuerdo con la tabla 1, la FR se incrementa significativamente tras el ejercicio, alcanzando valores superiores a 160 respiraciones/minuto en disciplinas de alta intensidad como las carreras. En el salto y el raid, el aumento de la FR es igualmente evidente, aunque con mayor variabilidad, lo que puede atribuirse a diferencias en la duración del ejercicio, el nivel de entrenamiento y las condiciones ambientales.

1.2. Temperatura

La monitorización de la temperatura mediante termómetro o termografía ocular (Kastberger y Stachl, 2003; Bartolomé *et al.*, 2013), así como en la superficie corporal (Westermann *et al.*, 2013; Fortier *et al.*, 2015; Soroko y Howell, 2018; Domino *et al.*, 2020; de Mira *et al.*, 2021; Nawrot *et al.*, 2024), permite evaluar los cambios térmicos producidos tras el ejercicio, los cuales reflejan tanto la intensidad del esfuerzo como el grado de adaptación del equino. Los datos mostrados en la tabla 1 evidencian un aumento moderado pero consistente de la temperatura post-ejercicio en todas las disciplinas, alcanzando en algunos casos hasta 41 °C, especialmente en raid. Este incremento térmico se debe a la producción de calor metabólico durante la contracción muscular, y su regulación eficiente resulta esencial para prevenir estados de hipertermia. El mantenimiento de la temperatura dentro de los rangos fisiológicos tras el ejercicio indica que los caballos evaluados poseen una adecuada capacidad termorreguladora, aunque este equilibrio puede verse comprometido en condiciones ambientales extremas.

2. ADAPTACIONES HEMÁTICAS, BIOQUÍMICAS Y HORMONALES

2.1. Cambios hematológicos

El ejercicio físico induce importantes respuestas fisiológicas mediadas por la activación del sistema simpático-adrenérgico, con liberación de epinefrina y cortisol (McKeever, 2011). Esta activación se produce de manera rápida, en aproximadamente 30-60 segundos, y provoca contracción esplénica, lo que aumenta el recuento de eritrocitos y hemoglobina (HB) (Ringmark *et al.*, 2015; Zuluaga-Cabrera *et al.*, 2022). Simultáneamente, se produce un movimiento de fluidos desde el compartimento intravascular hacia el intersticial, lo que reduce el volumen plasmático y eleva la concentración de proteínas plasmáticas, especialmente la albúmina (ALB) (Tabla 2) (Tyler-McGowan *et al.*, 2010; Burlikowska *et al.*, 2015).

El trabajo muscular también genera pérdida de agua, como parte de los mecanismos de termorregulación. Cuando esta pérdida es significativa, el caballo puede entrar en un estado de deshidratación, reflejado en un aumento de proteínas plasmáticas, en particular de la ALB, y en la disminución del volumen plasmático (Tyler-McGowan *et al.*, 2010; Burlikowska *et al.*, 2015; Zuluaga-Cabrera *et al.*, 2022). Estos cambios se traducen en un incremento del hematocrito (HTO) post-ejercicio, reflejando hemoconcentración. Los valores de HTO y de otros parámetros hematológicos pueden verse modulados por factores intrínsecos, como edad, sexo o raza, y por factores extrínsecos, como nivel de entrenamiento, estrés o condiciones climáticas, tal y como apuntan Andriichuk y Tkachenko (2017).

Ringmark *et al.*, (2015), observaron además que la mayoría de los machos presentan valores de HTO y HB superiores a los de las hembras (exceptuando Pura Sangre Inglés y Cuarto de Milla), lo que se atribuye al efecto androgénico de la testosterona sobre la hematopoyesis, estimulando la producción de células sanguíneas.

El análisis hematológico resulta una herramienta útil tanto para la detección de patologías como para la evaluación de la condición física, adaptación al entrenamiento y respuesta al esfuerzo, permitiendo determinar la intensidad y duración del ejercicio realizado y orientar estrategias de manejo y recuperación del caballo.

En la tabla 2 se recogen las medias de los parámetros hemáticos registrados en caballos deportivos pre y post-ejercicio: glóbulos rojos (GR), hematocrito (HTO), hemoglobina (HB), leucocitos (LEUC), linfocitos (LINF), proteínas totales (PT) y albúmina (ALB).

Los valores de referencia en caballos son los siguientes: GR basales de $6\text{--}12 \times 10^{12}/\text{L}$; HTO basal entre 32% y 52%, pudiendo aumentar alrededor de un 10% tras el ejercicio; HB entre 100 y 180 g/L; leucocitos normales entre $5 \text{ y } 12 \times 10^9/\text{L}$, aumentando como respuesta del sistema inmunológico y de la inflamación muscular inducida por el ejercicio; linfocitos entre $1.5 \text{ y } 4 \times 10^9/\text{L}$; proteínas totales entre 60 y 80 g/L, elevándose por pérdida de líquidos y redistribución de nutrientes; y ALB entre 25 y 40 g/L, que normalmente no se altera a menos que existan condiciones de estrés o deshidratación prolongada (Tyler-McGowan *et al.*, 2010; Burlikowska *et al.*, 2015; Ringmark *et al.*, 2015; Andriichuk y Tkachenko, 2017).

Al comparar disciplinas, se observan diferencias significativas en la magnitud de las al-

teraciones hematológicas. En salto, los aumentos post-ejercicio son moderados en todos los parámetros, ya que el esfuerzo es intenso pero breve; aun así, reflejan una clara activación del sistema cardiovascular y hematológico. En carreras, las variaciones son más acentuadas, especialmente en HTO y GR, concordando con la alta intensidad de la disciplina. Además, se registra un notable incremento de leucocitos, que indica una mayor movilización inmunitaria frente al estrés físico. Por su parte, la disciplina raid presenta las mayores variaciones post-ejercicio en la mayoría de los parámetros, particularmente en HB y PT, reflejando un elevado estrés fisiológico, hemoconcentración y adaptación metabólica a esfuerzos prolongados (Tyler-McGowan *et al.*, 2010; Burlikowska *et al.*, 2015; Ringmark *et al.*, 2015).

Esta disminución del hematocrito (HTO) tras el ejercicio se debe principalmente a procesos de hemodilución durante la recuperación. La reposición de líquidos en esta disciplina y el desplazamiento correspondiente de fluidos hacia el compartimento intravascular aumentan el volumen plasmático, mientras que la reducción de la contracción esplénica disminuye la liberación de eritrocitos a la circulación. Estos mecanismos, junto con una posible hemólisis inducida por el ejercicio, explican la reducción del HTO como parte de la adaptación fisiológica tras esfuerzos prolongados (Hodgson, 2014).

Tabla 2. Principales variables hematológicas medios antes (A) y después (B) del ejercicio de acuerdo con la actividad deportiva en caballos a partir de diferentes estudios (Rose *et al.*, 1983; Marlin *et al.*, 2002; Andriichuk y Tkachenko, 2017; Czech *et al.*, 2019; Valderrama *et al.*, 2020; Halama *et al.*, 2021; Piccione *et al.*, 2025).

	GR ($10^{12}/\text{L}$)		HTO (%)		HB (g/L)		LEUC ($\times 10^9/\text{L}$)		LINF ($\times 10^9/\text{L}$)		PT (g/L)		ALB (g/L)	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
SALTO	8	8.72	35.1	37.2	122.1	133.5	5.69	6.32	1.69	1.92	65.4	83.1	23.3	26.6
CARRERA	12.8	18.4	35.0	65.4	125	195	8.05	9.32	3.2	4.02	62.4	78.3	33.9	39.6
RAID	7.5	10	33.6	31.2	124	165.5	7.2	10.8	2.5	1.2	66	87	33.9	38.9

2.2. Cambios bioquímicos

En caballos deportivos, los parámetros bioquímicos más analizados tras el ejercicio incluyen lactato (LAC), nitrógeno úrico (BUN), creatina (CREAT), bilirrubina (BIL) y glucosa (GLU), los cuales reflejan la intensidad del esfuerzo, el tipo de metabolismo predominante y la respuesta fisiológica del organismo (Tyler-McGowan *et al.*, 2010; De Mira *et al.*, 2021; Masko *et al.*, 2021; Zuluaga-Cabrera *et al.*, 2022).

El LAC es un producto del metabolismo anaeróbico, presente en el músculo y medible en sangre. Su acumulación post-ejercicio depende de factores intrínsecos (edad, raza, masa muscular) y extrínsecos (tipo, intensidad y duración del esfuerzo) (De Mira *et al.*, 2021; Masko *et al.*, 2021). El BUN es un producto de desecho proteico generado en el hígado y excretado por los riñones, mientras que la CREAT proviene del metabolismo muscular. Ambos parámetros permiten evaluar la intensidad del trabajo físico: niveles más altos post-ejercicio indican un esfuerzo elevado. Según Zuluaga-Cabrera *et al.*, (2022) en disciplinas de raid, caballos árabes y potros (9–12 meses) presentan valores superiores debido a la mayor masa muscular y al uso intensivo del metabolismo oxidativo. No obstante, el BUN tiene limitaciones como indicador de función renal, ya que parte se reabsorbe en el túbulo contorneado distal.

La bilirrubina (BIL), sintetizada en el hígado, aumenta ante fenómenos de hemólisis inducidos por cambios de pH y fragilidad eritrocitaria derivados del ejercicio (Zuluaga-Cabrera *et al.*, 2022).

La glucosa (GLU) refleja la economía energética y la actividad hormonal del animal. Su concentración puede disminuir post-ejercicio por un aumento en la captación muscular y la glucólisis, mientras que hormonas como cortisol, catecolaminas, ACTH y hormona de crecimiento regulan la glucogenólisis y la gluconeogénesis (Tyler-McGowan *et al.*, 2010; Gómez *et al.*, 2004; Zuluaga-Cabrera *et al.*, 2022). En disciplinas de salto, se observa una hipoglucemia transitoria seguida de hiperglucemia, resultado del equilibrio entre consumo muscular y gluconeogénesis inducida por estrés. En deportes de resistencia o tiro de larga duración, la GLU puede mantenerse estable o disminuir levemente, mientras que la activación del sistema simpático-adrenal puede provocar incrementos temporales en situaciones de estrés. Las variaciones de los parámetros bioquímicos tras el ejercicio difieren notablemente según la disciplina ecuestre, reflejando el tipo de metabolismo predominante y la intensidad del esfuerzo (Tabla 3). En caballos de salto, se observa una respuesta moderada caracterizada por incrementos discretos en lactato y otros metabolitos, debido a la naturaleza breve pero intensa del ejercicio, donde predomina un componente anaeróbico li-

Tabla 3. Principales variables bioquímicas medidas antes (A) y después (B) del ejercicio de acuerdo con la actividad deportiva en caballos a partir de diferentes estudios (Tyler-McGowan *et al.*, 2010; De Mira *et al.*, 2021; Másko *et al.*, 2021; Zuluaga-Cabrera *et al.*, 2022).

	LAC (mmol/L)		BUN (mg/dL)		CREAT (mg/dL)		BIL (mg/dL)		GLU (mg/dL)	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
SALTO	1.0	4.5	15	22	1.2	1.6	1.2	2.0	90	110
CARRERA	1.2	22.0	18	28	1.3	2.0	1.5	3.0	95	140
RAID	1.0	6.0	20	40	1.4	2.8	1.8	4.0	85	80

mitado. En contraste, en caballos de carreras se alcanzan los valores más elevados de lactato, lo que evidencia una activación marcada del metabolismo anaeróbico y una elevada demanda energética inmediata; además, se observa un incremento de la glucosa posiblemente asociado a la respuesta hormonal mediada por catecolaminas y cortisol. Por su parte, en disciplinas de resistencia como el *endurance* o raid, el perfil bioquímico está dominado por un metabolismo aeróbico sostenido, con incrementos moderados de lactato pero elevaciones más acusadas de nitrógeno ureico y creatinina, relacionadas con el catabolismo proteico, la deshidratación y la duración prolongada del ejercicio. Asimismo, el aumento de la bilirrubina en estos animales se asocia con fenómenos de hemólisis y estrés oxidativo derivados del esfuerzo continuado.

Contreras-Aguilar *et al.* (2021) por su parte, estudian en caballos de raid diferentes parámetros bioquímicos en saliva: la alfa-amilasa salivar (sAMY), la butirilcolinesterasa salivar (sBChE) y la creatina quinasa salivar (sCK) que aumentan tras el ejercicio. Estos biomarcadores, relacionados positivamente con el tono simpático y negativamente con el parasimpático, sin asociación con el nivel de condición física, pueden emplearse como indicadores no invasivos del estrés inducido por el ejercicio.

2.3. Parámetros hormonales

El cortisol (COR) es una hormona que actúa como regulador químico del organismo del équido. Tiene un papel fundamental en la homeostasis orgánica (Bohák *et al.*, 2018) y se regula mediante el eje hipotálamo hipofisario adrenal (HPA), el ejercicio o esfuerzo físico actúa como estímulo sobre el HPA y genera un incremento en la concentración de COR en el plasma. A través del COR se puede cuantificar el estrés (De Mira *et al.*, 2021), que viene condicionado por la intensidad y duración del ejercicio, así como por la aptitud física del animal. Al igual que sucede con otros parámetros,

se puede combinar el COR con la temperatura del animal y con la variabilidad de la FC (VFC) (Butler *et al.*, 1993; Gómez *et al.*, 2004; Burlikowska *et al.*, 2015; Zuluaga-Cabrera *et al.*, 2022).

Además, estudios recientes han demostrado que biomarcadores salivales relacionados con el estrés, incluyendo el cortisol salival, se asocian con parámetros de variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV), reflejando la modulación del tono simpático y parasimpático durante el ejercicio en caballos de resistencia (por ejemplo, aumentos en enzimas salivales y su relación con HRV tras ejercicio estandarizado), lo que refuerza su utilidad como indicadores no invasivos del estrés inducido por el esfuerzo físico (Contreras-Aguilar *et al.*, 2021).

Tabla 4. Principales variaciones del cortisol sérico medidas antes (A) y después (B) del ejercicio de acuerdo con la actividad deportiva en caballos a partir de diferentes estudios por modalidades (Krumrych *et al.*, 2017. Hyypä, 2005; Marc *et al.*, 2000; Fazio *et al.*, 2008),

	Cortisol sanguíneo (ng/mL)	
	A	B
SALTO	40.88	61.64
CARRERA	39.43	55.45
RAID	30.0	95.0

A: pre-ejercicio; B: post-ejercicio

La tabla 4 muestra que la concentración de cortisol sanguíneo aumenta tras el ejercicio en todas las disciplinas ecuestres, reflejando la activación del eje hipotálamo-hipófisis-adrenal en respuesta al esfuerzo físico. No obstante, se observan diferencias en la magnitud de la respuesta: en salto y carreras el incremento es moderado, acorde con ejercicios de menor duración, mientras que en raid se registra un aumento mucho más acusado (de 30 a 95 ng/mL), lo que evidencia el elevado estrés fisiológico asociado a esfuerzos prolongados y acumulati-

vos. Estas diferencias ponen de manifiesto que la respuesta hormonal depende no solo del tipo de ejercicio, sino también de su duración e intensidad. Además, la variabilidad en los valores de cortisol debe interpretarse con cautela, ya que está influida por múltiples factores como la raza, el nivel de entrenamiento, la experiencia del animal y la interacción con el jinete, tal y como señalan von Lewinski *et al.* (2013), quienes demostraron que tanto el caballo como el jinete pueden presentar respuestas de estrés variables en función del contexto de entrenamiento y competición.

3. ALTERACIONES DEL EQUILIBRIO ÁCIDO-BASE

Los cambios en el equilibrio ácido-base del organismo del caballo están estrechamente relacionados con el tipo de metabolismo energético que se utiliza y con la disciplina deportiva practicada. En deportes de larga duración y baja o moderada intensidad, como el raid, los animales suelen experimentar profusa sudoración, lo que provoca pérdida de electrolitos y deshidratación (Goundasheva y Saveb, 2011). El sudor contiene principalmente Na⁺, K⁺ y Cl⁻, y su pérdida puede generar alcalosis metabólica hipoclorémica, caracterizada por una disminución del Cl⁻ post-ejercicio —debido a la sudoración y

al intercambio de Cl⁻ por parte de los glóbulos rojos a cambio de bicarbonato (HCO₃⁻)— y un aumento del pH sanguíneo (Hyypä y Pösö, 1998). Esta alteración indica agotamiento muscular y, en casos más graves, puede progresar a rabdomiólisis inducida por esfuerzo, propia de la disciplina de raid.

Como mecanismos compensatorios, el organismo puede recurrir a la hipoventilación, incrementando los niveles de CO₂ y generando una acidosis respiratoria, o a la eliminación renal de H⁺, que altera la concentración de HCO₃⁻; sin embargo, la eficacia de este último puede verse afectada por el volumen de sudor, el estrés y la temperatura ambiental (Marlin *et al.*, 2002).

En algunas pruebas deportivas, se observa hipocalcemia debido a la pérdida de K⁺ por sudoración, lo que puede afectar negativamente el rendimiento, favoreciendo la fatiga muscular, reduciendo o paralizando la motilidad intestinal y alterando la carga eléctrica cardíaca. En otros casos, se detecta un aumento de K⁺ y Na⁺, derivado de la movilización de fluidos desde el músculo esquelético hacia el compartimento extracelular, dependiendo de la intensidad del ejercicio (Hamlin *et al.*, 2002).

Otro trastorno frecuente en caballos de raid es la acidosis metabólica hiperláctica, caracterizada por disminución del pH, incremento de la pCO₂ (por acumulación de CO₂ en la musculatu-

Tabla 5. Principales variaciones del equilibrio ácido-base medidas antes (A) y después (B) del ejercicio de acuerdo con la actividad deportiva en caballos a partir de diferentes estudios por modalidades (Valderrama *et al.*, 2020; Pöskiene *et al.*, 2021; Rose *et al.*, 1983; Fielding y Magdesian, 2021; Soares *et al.*, 2016; Kupczyński *et al.*, 2018).

	pH		HCo3		pCO ₂		pO ₂		Cl		K		Na	
			mEq/L		mmHg		mmHg		mmol/L		mmol/L		mmol/L	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
SALTO	7.37	7.16	-	-	47.49	26.63	35.33	26.63	97.97	95.53	3.02	3.83	131.01	134.51
CARRERA	7.41	7.32	32.0	25.4	35.33	39.25	31.22	37.38	104	102.4	4.06	4.18	140.4	144.80
RAID	7.45	7.51	27.66	27.92	43.18	40.63	46.5	55.6	106.8	97.8	3.54	3.28	137.0	140.0

A: pre-ejercicio; B: post-ejercicio

ra durante el ejercicio o el transporte) y elevación de lactato (LAC), especialmente durante fases de mayor velocidad (Hyypä y Pösö, 1998).

La tabla 5 muestra respuestas fisiológicas diferenciadas, reflejando distintos patrones de equilibrio ácido-base y adaptación respiratoria al ejercicio. En caballos de salto, se observa una marcada disminución del pH y de la $p\text{CO}_2$ tras el ejercicio, compatible con un estado de acidosis metabólica asociada a un esfuerzo intenso y de corta duración, junto con una compensación respiratoria. En carreras, la ligera disminución del pH acompañada de un descenso del bicarbonato (HCO_3^-) y cambios moderados en los gases sugiere una acidosis metabólica más controlada, acorde con ejercicios de alta intensidad pero relativamente breves, donde existe cierto equilibrio entre producción y eliminación de metabolitos. Por el contrario, en raid se aprecia un aumento del pH junto con valores más estables de HCO_3^- y una tendencia a la disminución de la $p\text{CO}_2$, lo que podría indicar una alcalosis respiratoria asociada a hiperventilación durante esfuerzos prolongados. En cuanto a los electrolitos, las variaciones en Cl^- , K^+ y Na^+ reflejan pérdidas y redistribuciones relacionadas con el ejercicio y la sudoración, siendo más evidentes en disciplinas de resistencia. En conjunto, estos resultados evidencian que la respuesta gasométrica está fuertemente condicionada por la intensidad y duración del ejercicio, mostrando perfiles fisiológicos específicos para cada modalidad deportiva.

4. DETERMINACIONES ENZIMÁTICAS

En los caballos de salto se ha observado un incremento de las enzimas CK y AST, debido a un aumento en el tamaño hepático durante el entrenamiento y este fenómeno también está relacionado con el aumento de otras enzimas implicadas en el trabajo muscular (la gamma-glutamyl transferasa (GGT), principalmente) (Arias Gutiérrez y Pérez Jaramillo, 2006).

En el caso de la AST, también se puede ver incrementada a causa de la hemoconcentración, y suele estar más relacionada con el daño muscular que la CK. En caballos de resistencia, se observa la CK incrementada, ya que en dicha disciplina deportiva se utiliza sobre todo la ruta aerobia para obtener energía oxidando la glucosa, las grasas y los triglicéridos (Muñoz *et al.*, 2002).

Cabe mencionar otra enzima, lactato deshidrogenasa (LDH), la cual aporta información acerca de la fisiología del équido; al igual que ocurre con la AST, un incremento de la LDH post-ejercicio, indica un posible daño muscular. Tanto la CK como la LDH dependen de los niveles de proteínas, aminoácidos y vitamina E, por lo que es interesante incluir dichos suplementos en la dieta del animal, para disminuir la probabilidad de daño muscular (Hodgson *et al.*, 2014).

Por último, la CK posee valores elevados tras el ejercicio, y junto a la AST, es indicadora de fatiga muscular, se emplean de forma con-

Tabla 6. Principales variaciones enzimáticas medidas antes (A) y después (B) del ejercicio de acuerdo con la actividad deportiva en caballos a partir de diferentes estudios por modalidades (Art *et al.*, 1995; Hamlin *et al.*, 2002; Teixeira-Neto *et al.*, 2008; Fazio *et al.*, 2014; Gonçalves *et al.*, 2025).

	CK (U/L)		AST (U/L)		LDH (U/L)	
	A	B	A	B	A	B
SALTO	130.4	195.4	226.9	308.0	485.1	596.4
CARRERA	200	400-800	503.0	525.0	407.60	-
RAID	245.1	413.6	328.9	389.9	496.6	628.6

junta para valorar la capacidad de rendimiento en caballos que practiquen una disciplina de baja o moderada intensidad y larga duración, como el raid, ya que estos caballos a diferencia de los de salto o carrera no pueden valorarse a través de las concentraciones de LAC en sangre (Muñoz *et al.*, 2002).

Los resultados recogidos en la tabla 6 muestran un incremento generalizado de las enzimas musculares tras el ejercicio en todas las disciplinas, reflejando la respuesta fisiológica del músculo al esfuerzo. En caballos de raid, se observa un aumento moderado de CK, AST y LDH, compatible con un ejercicio prolongado de predominio aeróbico que genera un daño muscular acumulativo pero controlado (Teixeira-Neto *et al.*, 2008). En contraste, en caballos de carreras se registran los mayores incrementos de CK, alcanzando valores de hasta 800 U/L, lo que evidencia una elevada intensidad del ejercicio anaeróbico y una mayor exigencia muscular aguda (Fazio *et al.*, 2014). Por su parte, en caballos de salto, los aumentos son más moderados, lo que se relaciona con la naturaleza intermitente del esfuerzo, caracterizado por picos de intensidad pero de corta duración (Gonçalves *et al.*, 2025). En conjunto, estas diferencias ponen de manifiesto que la magnitud de la respuesta enzimática depende tanto de la intensidad como de la duración del ejercicio, siendo mayor en esfuerzos máximos o prolongados.

5. FACTORES MODULADORES DE LA RESPUESTA AL EJERCICIO

5.1. Factores intrínsecos

5.1.1. Edad

La edad es un factor inherente que repercute en la capacidad atlética del animal, mejorándola; se observa que los caballos de mayor edad presentan menores FC que caballos más jóvenes (4 años o menos) y esto es debido a la tasa metabólica y a la eficiencia que representa

el entrenamiento, mejorando la condición física del animal (Hyypä y Pösö, 1998). Los potros de entre 2 y 9 meses, presentan mayores acumulaciones de LAC en sangre, debido a una mayor actividad muscular durante la extracción sanguínea o como respuesta a las catecolaminas, las cuales estimulan las vías glucolíticas (como ocurre en adultos). En potros y adultos se puede emplear el LAC como un indicador pronóstico de enfermedad. Por lo que respecta al COR, se ha visto que los potros de 6 meses presentan un rango inferior en los niveles de COR, debido a la maduración de sus órganos; y que los caballos jóvenes o inexpertos presentan niveles elevados de COR en sangre porque son animales con una condición deportiva inferior y por tanto el esfuerzo que realizan es mayor, y con ello el estrés que generan sobre su organismo. Del mismo modo, los potros presentan un incremento de la CK y AST debido a que tras el destete tienen una mayor contracción muscular. Sucede lo mismo con la edad, aquellos caballos de 4 años o menos, presentan valores mayores en dichos parámetros respecto a los animales de mayor edad (Hyypä y Pösö, 1998; Bartolomé *et al.*, 2013).

Por disciplinas ecuestres, los caballos de carreras alcanzan el pico de rendimiento de forma temprana, entre los 4 y 6 años, debido a la elevada exigencia anaeróbica y a la rápida especialización deportiva (Rogers *et al.*, 2007). En contraste, en disciplinas de resistencia como el raid, el máximo rendimiento se sitúa habitualmente entre los 8 y 12 años, reflejando la importancia de la madurez fisiológica y la adaptación progresiva al esfuerzo prolongado (Rogers *et al.*, 2007). A partir de los 15–18 años, los caballos se consideran geriátricos, y se ha descrito una disminución progresiva de la capacidad aeróbica, la masa muscular y la eficiencia metabólica, junto con una recuperación más lenta tras el ejercicio (Hodgson *et al.*, 2014; McGowan *et al.*, 2010). Estos cambios se asocian a una reducción del consumo máximo de oxígeno (VO_2max) y a alteraciones en

la función cardiovascular y muscular (Waller y Lindinger, 2010). No obstante, la magnitud de este deterioro depende en gran medida del historial de entrenamiento, el manejo y el estado sanitario, por lo que la edad cronológica no siempre refleja con precisión la edad funcional del animal.

5.1.2. Sexo

Con respecto al sexo, las diferencias en parámetros fisiológicos y hemáticos no ha mostrado grandes diferencias según la bibliografía consultada, si bien se ha observado que los sementales muestran menores FC, FR y T que las yeguas (Domino *et al.*, 2022). A su vez, los sementales presentan menores concentraciones de LAC, ya que tienen un mayor número de fibras musculares tipo IIA y IIB y acumulan menos LAC que las yeguas (Hyyppä y Pösö, 1998).

En relación con el estado sexual, la castración en caballos produce una disminución significativa de la testosterona, lo que se traduce en cambios principalmente conductuales más que fisiológicos. Diversos estudios han señalado que los caballos castrados presentan un temperamento más estable, menor agresividad y mayor facilidad de manejo en comparación con los enteros, lo que puede favorecer su rendimiento deportivo al reducir interferencias conductuales durante el ejercicio (McDonnell, 2003; King *et al.*, 2022). De hecho, se ha descrito que la castración tiene un impacto limitado sobre la fisiología básica del ejercicio y la capacidad atlética, manteniéndose parámetros funcionales similares entre grupos cuando las condiciones de entrenamiento son comparables (King *et al.*, 2022). Asimismo, estudios de comportamiento en caballos montados indican que las diferencias observadas entre sexos están más relacionadas con factores de aprendizaje y manejo que con características intrínsecas del estado sexual (Aune *et al.*, 2020). En consecuencia, aunque los caballos castrados son ampliamente utilizados en el deporte ecuestre por

su mayor manejabilidad, la evidencia científica que demuestra diferencias fisiológicas directas en parámetros bioquímicos o hematológicos sigue siendo limitada.

5.1.3. Raza

Atendiendo a la raza, se observa que hay razas equinas, como la anglo-árabe, que se excitan con mayor facilidad, es decir, tienen más temperamento, por lo que pueden presentar un aumento en los valores de los parámetros si se comparan con otras razas, tanto antes como después de realizar el ejercicio físico (Butler *et al.*, 1993; Bartolomé *et al.*, 2013).

Por su parte, razas destinadas a salto como Holsteiner o el Polaco Mestizo, presentan mayores valores de PT y ALB (en reposo) que los de carreras y ambos mayores recuentos en reposo que los caballos que están destinados a actividades recreativas (paseos) (Andriichuk y Tkachenko, 2017).

A pesar de las diferencias mencionadas entre algunas razas, estas dependen en mayor medida del nivel de entrenamiento y del estado físico que de la raza en sí. Las adaptaciones fisiológicas derivadas del ejercicio condicionan los valores observados, por lo que resulta difícil establecer comparaciones directas entre razas sin considerar estos factores.

5.1.4. Entrenamiento

El nivel de entrenamiento de un animal hace que esté más adaptado a los cambios fisiológicos que conlleva el esfuerzo físico, esta preparación produce una mejora en la capacidad del transporte de O₂ de la sangre, lo que conlleva la adaptación del organismo a una carga de trabajo o ejercicio, viéndose reflejado ya en los parámetros en reposo, donde por ejemplo se observan mayores valores de HTO y HB que en los caballos no entrenados (Andriichuk y Tkachenko, 2017). Por otro lado, el incremento de las proteí-

nas plasmáticas y la ALB junto a la bajada del volumen plasmático, son el resultado del grado de filtración entre los espacios intra y extravasculares, de las demandas metabólicas que propicia el deporte, del control neuroendocrino, del estado nutricional y del balance hídrico (sudoración, hidratación) así como de la intensidad del ejercicio. Con un buen entrenamiento los valores post-ejercicio son más cercanos a los basales (Tyler-McGowan *et al.*, 2010; Zuluaga-Cabrera *et al.*, 2022), al igual que los cambios en los GR, proteínas plasmáticas y el volumen del plasma sanguíneo, el entrenamiento también influye en los cambios a nivel de los LEUC (especialmente linfocitos y neutrófilos), los cuales también se tienen en cuenta a la hora de medir el esfuerzo que realiza el animal cuando lleva a cabo un deporte (Bohák *et al.*, 2018; Zuluaga-Cabrera *et al.*, 2022). Atendiendo al tipo e intensidad de ejercicio, se acumulará mayor o menos cantidad de LAC post-ejercicio, lo que generalmente está marcado por la disciplina deportiva que se practique, pudiendo haber variabilidad entre individuos dentro de la misma modalidad, como sucede en el salto (la altura del salto está directamente relacionada con la carga de trabajo, a mayor altura, mayor acumulación de LAC) (Stefánsdóttir *et al.*, 2014). Si comparamos el salto con las carreras, en esta última disciplina se produce una menor acumulación de LAC, ya que, en dichas pruebas, los animales presentan un porcentaje elevado de fibras musculares tipo I, cuando el organismo siente la falta de O₂ durante el ejercicio, la tasa se eleva y se obtiene a través de la vía anaeróbica. Este incremento de LAC en sangre favorece la predisposición a daños musculares (De Mira *et al.*, 2021). Los caballos que se dedican a disciplinas de resistencia presentan una conformación muscular formada en su mayoría por fibras tipo I u oxidantes, que se caracterizan por su baja síntesis y concentración de LAC. En añadido a lo comentado referente a las diferentes disciplinas deportivas, cabe te-

ner en cuenta el factor entrenamiento, si se realiza correctamente, supondrá un importante beneficio a nivel fisiológico, consiguiendo una disminución en la concentración de LAC en sangre post-ejercicio (Stefánsdóttir *et al.*, 2014). Así como el entrenamiento es un factor beneficioso, se ha observado que cuando hay un entrenamiento desmesurado (sobreenentrenamiento) se producen elevadas concentraciones de LAC y falta de energía, debido a un aumento de producción de fibras tipo IIB (Tyler-McGowan *et al.*, 2010; De Mira *et al.*, 2021). Respecto al COR, el entrenamiento produce una disminución en las concentraciones de esta hormona en sangre, tanto en reposo como después del ejercicio; esto es debido a una modificación del HPA, disminuyendo así la ACTH y por tanto el COR (Masko *et al.*, 2021). El ejercicio induce un estrés sobre el animal que genera un incremento en sus concentraciones post-ejercicio sobre todo en aquellas disciplinas que conllevan una mayor actividad del metabolismo aeróbico, porque el COR estimula tanto la glucogenólisis como la lipólisis para generar energía; aun teniendo esto en cuenta, se ha medido el COR en caballos de raid, donde se ha observado que hay una elevación de COR previo al ejercicio y que posteriormente al finalizar la prueba la concentración es menor; esto es debido a que se produce un *feedback* negativo, inducido por el propio COR generado en respuesta al estrés producido por el ejercicio, el cual inhibe tanto la síntesis como la secreción de ACTH (Kastberger y Stachl, 2003). Por lo que respecta a los niveles de CK y AST, la aptitud física y el entrenamiento, favorecen que los animales adquieran mayores velocidades en las pruebas, lo que conlleva a un incremento en los niveles de ambas enzimas, no obstante, si el animal recibe un entrenamiento adecuado, los niveles enzimáticos post-ejercicio, serán inferiores respecto a los animales que no reciben un entrenamiento exitoso (Hyypä y Pösö, 1998; Gómez *et al.*, 2004).

5.1.5. Nutrición

Cuantificar la cantidad de energía gastada durante la disciplina deportiva y su entrenamiento, permite realizar y mejorar las recomendaciones dietéticas, ya que se debe garantizar al máximo un equilibrio entre el suministro de energía dietética y el gasto energético aeróbico, para preservar tanto la salud del animal como su rendimiento (Domino *et al.*, 2020).

Para realizar dicha valoración, se cuantifica tanto la velocidad o potencia como el consumo de O₂, observándose un incremento en los valores de aquellos caballos que tienen una mayor condición corporal, y por tanto requieren mayores requerimientos nutricionales, quedando reflejado que el aporte energético durante el ejercicio no deriva únicamente de la degradación del glucógeno muscular, siendo este insuficiente, adquiriendo especial relevancia el metabolismo graso, el cual también interviene en la hidratación celular; dicho metabolismo graso, se estimula con una dieta apropiada (Hamlin *et al.*, 2002; Domino *et al.*, 2020). Una dieta rica en concentrados produce un incremento de los niveles enzimáticos, CK y AST.

5.2. Factores extrínsecos

5.2.1. Factores ambientales

La temperatura ambiental, la humedad y el viento, entre otros, relacionados con el sitio y el ambiente en el que se realiza la prueba física, tienen efecto sobre la fisiología del caballo. Se ha observado que cuando hay viento se produce un incremento en la resistencia, el cual conlleva un mayor gasto energético por parte del animal y este gasto energético se ve reflejado tanto en la FC como en la T. Las altas temperaturas ambientales y los niveles de humedad pueden aumentar la FC, ya que el cuerpo del caballo trabaja más para disipar el calor y mantener la termorregulación. Por el contrario, si el clima es frío, la T disminuirá ya que el calor se pier-

de por convección, conducción y evaporación (Stefánsdóttir *et al.*, 2014).

Dichos factores no solo guardan relación con la zona de la prueba, sino que además la prueba en sí y el mantenimiento de la pista influyen directamente sobre los mismos. A mayor velocidad se produce un incremento de la FC y de la FR y a mayor distancia un incremento de la T (0.2°C por cada kilómetro recorrido), pero una disminución de la FC (Snow *et al.*, 1985; Hyypä y Pösö, 1998). Por lo que respecta a los niveles de CK y LDH, se observa un incremento de estas una vez finalizada las pruebas deportivas en zonas con temperaturas elevadas (Mecocci *et al.*, 2026).

5.2.3. Transporte

El transporte, es un factor que, según su duración, afecta a la FC, observándose que, en desplazamientos de cuatro a ocho horas, se produce un incremento de la FC (previa a la competición), además, no se aprecian alteraciones en dicho parámetro en transportes de entre media hora y cuatro horas o, más de ocho horas (Bartolomé *et al.*, 2013). El aumento de la FC podría correlacionarse con una situación de estrés en el animal, liberando adrenalina y cortisol. La adrenalina tiene un efecto antagonista sobre el glucógeno muscular, lo que implica que el animal posea menos reservas energéticas para la competición y, por ende, repercutir directamente en su rendimiento deportivo. Por su parte, el cortisol, produce una liberación de glucosa al torrente sanguíneo, lo cual puede potenciar la falta de rendimiento en la competición posterior.

6. RECUPERACIÓN POST-EJERCICIO Y ADAPTACIÓN AL ENTRENAMIENTO

Para valorar el progreso físico que adquiere un caballo y la adaptación al deporte en sí mediante el entrenamiento, se estudia el grado de recuperación tras el ejercicio. Dicha valoración

se centra en analizar parámetros fisiológicos y hemáticos, mediante una monitorización fisiológica del animal en diferentes tiempos, dependiendo de la disciplina deportiva en cuestión, pudiendo ser muestreos a los 15-30-45 minutos en raid, a los 15 segundos-5-10-15 minutos en salto (Gómez *et al.*, 2004), así como a los 5-15-30 minutos en carrera (Goachet y Julliand, 2015) tras el esfuerzo físico que conlleva el deporte o entrenamiento, contabilizando el tiempo que tarda el animal en volver a sus valores basales; cuanto menor sea dicho tiempo de recuperación, mejor se entiende la aptitud deportiva y, por ende, la adaptación al deporte practicado (Hyypä y Pösö, 1998; De Mira *et al.*, 2021). Además de evaluar la salud del animal (Ringmark *et al.*, 2015; Andriichuk y Tkachenko, 2017), estos parámetros también son útiles para conseguir información acerca de las características del esfuerzo físico y su repercusión fisiológica. Cabe mencionar que las condiciones de entrenamiento en cinta rodante no siempre reflejan las necesidades metabólicas del animal en campo, donde existen factores como la naturaleza del suelo, el peso del jinete en determinadas disciplinas, adaptación del animal a la aparatología de medición (máscaras, cintas torácicas...) a tener en cuenta (Hiraga y Sugano, 2016). Así mismo, la periodicidad e intensidad del entrenamiento influye directamente en la adaptabilidad del animal, quedando documentado que los ejercicios de entrenamiento intermitentes de baja intensidad intercalados con ráfagas cortas de alta intensidad mejoran las respuestas fisiológicas del animal frente al esfuerzo (Domino *et al.*, 2020). Uno de los efectos de la adaptación al ejercicio, además de valorar la rapidez de volver a los valores basales (tiempo de recuperación menor), es la disminución paulatina de los valores fisiológicos post-ejercicio en respuesta a una optimización del metabolismo aeróbico (Gómez *et al.*, 2004). Es importante remarcar el periodo de recuperación del LAC post-ejercicio, el cual depende del gasto cardíaco, de la oxidación aerobia o

bien de la vía de gluconeogénesis hepática o intramuscular (Stefánsdóttir *et al.*, 2014). Otra manera de disminuir la tasa de LAC en sangre al finalizar el ejercicio es realizar ejercicios aerobios suaves con el caballo para incrementar la tasa de eliminación de LAC sanguíneo post-ejercicio (Tyler-McGowan *et al.*, 2010). Además de ser un parámetro que por sí solo da mucha información, se combina muchas veces con la FC y con este binomio surge un parámetro que permite medir el nivel de esfuerzo por la carga de trabajo, intensidad del ejercicio, el índice de rendimiento, el periodo de acondicionamiento, el entrenamiento, la presencia o no de fatiga y el nivel de adaptación (Hyypä y Pösö, 1998; Stefánsdóttir *et al.*, 2014; De Mira *et al.*, 2021).

Por todo ello, la recuperación de los parámetros fisiológicos tras el ejercicio en caballos deportivos y su la concentración de lactato, depende de múltiples factores relacionados tanto con el ejercicio como con el propio animal. Diversos estudios han demostrado que caballos con mayor nivel de entrenamiento presentan una recuperación más rápida de la frecuencia cardíaca, lo que se asocia con una mejor condición cardiovascular (Lindner *et al.*, 2020). Asimismo, la intensidad y duración del ejercicio influyen directamente en la magnitud de la respuesta fisiológica y en el tiempo necesario para retornar a valores basales, siendo más prolongada la recuperación tras ejercicios de alta intensidad y componente anaeróbico (Hinchcliff *et al.*, 2008). En conjunto, estos factores, junto con los individuales de cada animal, explican la variabilidad observada en la recuperación fisiológica, lo que dificulta establecer valores universales aplicables a todos los caballos.

CONCLUSIONES

El ejercicio físico en el caballo deportivo induce adaptaciones fisiológicas complejas que afectan a los sistemas hematológico, bioquímico, hormonal y cardiovascular, reflejando la

interacción entre la intensidad y la duración del esfuerzo. Se observan diferencias claras entre disciplinas ecuestres, donde las pruebas de alta intensidad como las carreras generan respuestas más agudas, mientras que disciplinas de resistencia como el raid se asocian a adaptaciones metabólicas sostenidas y a un mayor estrés fisiológico acumulado.

Asimismo, factores intrínsecos como la edad, el nivel de entrenamiento y, en menor medida, la raza y el sexo, modulan significativamente estas respuestas, condicionando tanto el rendimiento como la recuperación del animal. En este contexto, biomarcadores como el lactato, la creatina quinasa, el cortisol y la frecuencia cardíaca se consolidan como herramientas útiles para evaluar la carga de trabajo y el estado fisiológico del caballo.

No obstante, la heterogeneidad metodológica entre estudios y la limitada disponibilidad de datos comparativos dificultan la estandarización de valores de referencia, especialmente entre disciplinas. Por ello, futuros estudios deberían centrarse en el uso de tecnologías de monitorización continua y en el análisis integrado de múltiples parámetros fisiológicos, con el fin de optimizar el rendimiento y garantizar el bienestar del caballo deportivo.

REFERENCIAS

- Andriichuk, A., & Tkachenko, H. (2017). Effect of gender and exercise on haematological and biochemical parameters in Holsteiner horses. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 101(5), e404–e413. <https://doi.org/10.1111/jpn.12620>
- Arias Gutiérrez, M. P., & Pérez Jaramillo, P. C. (2006). Comparación de los valores del hemoleucograma entre caballos de carreras Pura Sangre Inglés velocistas y fondistas del hipódromo Los Comuneros de Guarne, Antioquia. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 1(1), 7–13.
- Art, T., Votion, D. & Lekeux, R. (1995). Physiological measurements in horses after strenuous exercise in hot, humid conditions. *Equine Veterinary Journal*, 27: 120-124. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1995.tb05017.x>
- Aune, A., Fenner, K., Wilson, B., Cameron, E., McLean, A., & McGreevy, P. (2020). Reported Behavioural Differences between Geldings and Mares Challenge Sex-Driven Stereotypes in Ridden Equine Behaviour. *Animals*, 10(3), 414. <https://doi.org/10.3390/ani10030414>
- Bartolomé, E., Sánchez, M. J., Molina, A., Schaefer, A. L., Cervantes, I., & Valera, M. (2013). Using eye temperature and heart rate for stress assessment in young horses competing in jumping competitions and its possible influence on sport performance. *Animals*, 7(12), 2044–2053. <https://doi.org/10.1017/S1751731113001626>
- Bohák Z., Harnos A., Joó K., Szenci O. & Kovács L. (2018) Anticipatory response before competition in Standardbred racehorses. *PLoS ONE* 13(8): e0201691. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201691>
- Burlikowska, K., Boguslawska-Tryk, M., Szymeczko, R., & Piotrowska, A. (2015). Haematological and biochemical blood parameters in horses used for sport and recreation. *Journal of Central European Agriculture*, 16(4), 476–485. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/16.4.1634>
- Butler, P. J., Woakes, A. J., Smale, K., Roberts, C. A., Hillidge, C. J., Snow, D. H. & Marlin, D. J. (1993). Respiratory and cardiovascular adjustments during exercise of increasing intensity and during recovery in thoroughbred racehorses. *Journal of Experimental Biology*, 179, 159–180. <https://doi.org/10.1242/jeb.179.1.159>
- Chamberlin, J. E. (2006). *Horse: How the horse has shaped civilizations*. A. A. Knopf Canada.
- Czech, A., Kiesz, M., Kiesz, A., Próchniak, T., Róžański, P. & Klimiuk, K. (2019). Influ-

- ence of Type of Use, Age and Gender on Haematological and Biochemical Blood Parameters of Małopolski Horses. *Annals of Animal Science*, 19(1), 85-96. <https://doi.org/10.2478/aoas-2018-0031>
- Contreras-Aguilar, M. D., Cerón, J. J., Muñoz, A. & Ayala, I. (2021). Changes in saliva biomarkers during a standardized increasing intensity field exercise test in endurance horses. *Animal: an international journal of animal bioscience*, 15(6), 100236. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100236>
- de Mira, M. C., Lamy, E., Santos, R., Williams, J., Vaz Pinto, M., Martins, P. S. Rodrigues, P. & Marlin, D. (2021). Salivary cortisol and eye temperature changes during endurance competitions. *BMC Veterinary Research*, 17, Article 329. <https://doi.org/10.1186/s12917-021-02985-9>
- Deraga, D. (2007). El caballo y el deporte. *Estudios del Hombre*, (23), 193–209.
- Domino, M., Romaszewski, M., Jasiński, T., & Maško, M. (2020). Comparison of the Surface Thermal Patterns of Horses and Donkeys in Infrared Thermography Images. *Animals*, 10(12), 2201. <https://doi.org/10.3390/ani10122201>
- Fazio, F., Casella, S., Assenza, A. (2014). Blood biochemical changes in show jumpers during a simulated show jumping test. *Veterinary Archives* 84(2):143-152.
- Fazio, E., Medica, P. & Cravana, C. and Ferlazzo, A. (2008), Effects of competition experience and transportation on the adrenocortical and thyroid responses of horses. *Veterinary Record*, 163: 713-716. <https://doi.org/10.1136/vr.163.24.713>
- Fielding, C. & Magdesian, K. (2021). Changes in electrolyte concentrations and hydration status in endurance horses following transport and an overnight stay prior to competition. *American Journal of Veterinary Research*, 82(12):1026-1031. <https://doi.org/10.2460/ajvr.20.11.0193>
- Fielding, C., & Magdesian, K. (2021). Changes in electrolyte concentrations and hydration status in endurance horses following transport and an overnight stay prior to competition. *American Journal of Veterinary Research*, 82(12), 1026–1031. <https://doi.org/10.2460/ajvr.20.11.0193>
- Fortier, J., Deley, G., Goachet, A.-G., & Julliand, V. (2015). Quantification of the energy expenditure during training exercises in Standardbred trotters. *Animals*, 9(5), 793–799. doi: <https://doi.org/10.1017/S1751731114003139>
- Frick, L., Schwarzwald, C. C., & Mitchell, K. J. (2019). The use of heart rate variability analysis to detect arrhythmias in horses undergoing a standard treadmill exercise test. *Journal of veterinary internal medicine*, 33(1), 212–224. <https://doi.org/10.1111/jvim.15358>
- Goachet, A. G., & Julliand, V. (2015). Implementation of field cardio-respiratory measurements to assess energy expenditure in Arabian endurance horses. *Animals*, 9(5), 787–792. <https://doi.org/10.1017/S1751731114003061>
- Gómez, C., Petró, P., Andaur, M., Pérez, R., & Matamoros, R. (2004). Medición post-ejercicio de variables fisiológicas, hematológicas y bioquímicas en equinos de salto holsteiner. *Revista Científica De La Facultad De Ciencias Veterinarias*, 14(3). Recuperado a partir de <https://www.produccion-cientificaaluz.org/index.php/cientifica/articulo/view/15051>
- Gonçalves, J. G., Moreira, R. H. R., Faria, F. J. C., Silva, K. M., & Ribeiro, W. P. (2025). Biochemical response to physical exercise in show-jumping horses. *Comparative Exercise Physiology* 12(1):11-16. <https://doi.org/10.3920/CEP150033>
- Gundasheva, D., & Sabev, S. (2011). Influence of exercise on acid-base, blood gas and electrolyte status in horses. *Trakia Journal of Sciences*, 9(3), 63–67.

- Halama, A., Oliveira, J. M., Filho, S. A., Qasim, M., Achkar, I. W., Johnson, S., Suhre, K., & Vinardell, T. (2021). Metabolic Predictors of Equine Performance in Endurance Racing. *Metabolites*, 11(2), 82. <https://doi.org/10.3390/metabo11020082>
- Hamlin, M. J., Shearman, J. P., & Hopkins, W. G. (2002). Changes in physiological parameters in overtrained Standardbred racehorses. *Equine Veterinary Journal*, 34(4), 383–388. <https://doi.org/10.2746/042516402776249146>
- Hinchcliff, K.W., Raymond J., Andris G. & Kaneps, J. (2008). Equine Exercise Physiology. *Saunders/Elsevier* <https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-2857-1.X5001-X>
- Hiraga, A., & Sugano, S. (2016). Studies on exercise physiology and performance testing of racehorses performed in Japan during the 1930s using recovery rate as an index. *Journal of Equine Science*, 27(4), 131–142. <https://doi.org/10.1294/jes.27.131>
- Hodgson, D.R., McKeever, K.H. & McGowan, C.M. (2014). *The Athletic Horse: Principles and Practice of Equine Sports Medicine*. Elsevier.
- Hyypä, S., & Pösö, A. R. (1998). Fluid, electrolyte, and acid-base responses to exercise in racehorses. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 14(1), 121–136. [https://doi.org/10.1016/S0749-0739\(17\)30215-8](https://doi.org/10.1016/S0749-0739(17)30215-8)
- Hyypä, S. (2005). Endocrinal responses in exercising horses. *Livestock Production Science*, 9(2), 113–121. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.11.014>
- Kastberger, G., & Stachl, R. (2003). Infrared imaging technology and biological applications. *Behavior research methods, instruments, & computers : a journal of the Psychonomic Society, Inc*, 35(3), 429–439. <https://doi.org/10.3758/bf03195520>
- Kędzierski, W., Cywińska, A., Strzelec, K. & Kowalik, S. (2014). Salivary Cortisol Level in Trained Horses. *Animal Science Journal*, 85: 313–317. <https://doi.org/10.1111/asj.12146>
- King S. R.B., Schoenecker K.A. & Cole, M.J. (2022). Effect of adult male sterilization on the behavior and social associations of a feral polygynous ungulate: the horse. *Applied Animal Behaviour Science*, 249. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2022.105598>
- Kupczyński, R., KŚpitalniak, K., Zwyrzykowska-Wodzińska, A. & Soroko, M. (2018). The influence of different workload trainings on some blood parameters in show jumping horses. *Veterinarški Archiv* 88 (3), 279–293. <https://doi.org/10.24099/vet.arhiv.170513>
- Krumrych, W., Ryszard, G., Gołyński, M., Markiewicz, H. & Buzafa, M., (2017). Effect of physical exercise on cortisol concentration and neutrophil oxygen metabolism in peripheral blood of horses. *Annals of Animal Science* 18(1). <https://doi.org/10.1515/aoas-2017-0019>
- Lindner A., Signorini, R., de Oliveira, K., Bolati, N. & Nuñez, J.L. (2020) Effect of consecutive jumping efforts over several days on kinetic locomotion parameters in unriden horses – a preliminary study. *Comparative Exercise Physiology*, 17, 219–228. <https://doi.org/10.3920/CEP200042>
- López Balmaceda, N. M., & Moncada Durán, E. L. (2022). Generalidades y bienestar animal del equino atleta. *Universidad Francisco de Paula Santander*. <https://www.researchgate.net/publication/366311288>
- Marc, M., Parvizi, N., Ellendorff, F., Kallweit, E., & Elsaesser, F. (2000). Plasma cortisol and ACTH concentrations in the warmblood horse in response to a standardized treadmill exercise test as physiological markers for evaluation of training status. *Journal of animal science*, 78(7), 1936–1946. <https://doi.org/10.2527/2000.7871936x>
- Marlin, D. J., Fenn, K., Smith, N., Deaton, C. D., Roberts, C. A., Harris, P. A., Dunster, C., & Kelly, F. J. (2002). Changes in cir-

- culatory antioxidant status in horses during prolonged exercise. *Journal of Nutrition*, 132(6, Suppl. 2), 1622S–1627S. <https://doi.org/10.1093/jn/132.6.1622S>
- Maško, M., Borowska, M., Domino, M., Jasiński, T., Zdrojkowski, L. & Gajewski, Z. (2021). A novel approach to thermographic images analysis of equine thoracolumbar region: The effect of effort and rider's body weight on structural image complexity. *BMC Veterinary Research*, 17, Article 99. <https://doi.org/10.1186/s12917-021-02803-2>
- McKeever K. (2011) Endocrine Alterations in the Equine Athlete: An Update. *Veterinary Clinics: Equine Practice*, 27, 197-218
- McGowan, C.M., Pinchbeck, G.L. & McGowan, T.W. (2010). Prevalence, risk factors and clinical signs predictive for equine pituitary pars intermedia dysfunction in aged horses. *Equine Veterinary Journal*, 42(1), 74–79.
- McDonnell, S.M. (2003). *The Equid Ethogram: A Practical Field Guide to Horse Behavior*. Eclipse Press.
- Mecocci S., Porzio E., Chiaradia E., Pepe M., Paris A., Bergagna S., Pietrucci D., Chillemi G., Beccati F. & Cappelli K. (2026). Omic technology to monitoring resilience and adaptation to exercise and heat stress in endurance horses. *Frontiers in Veterinary Science*, 12:1734969. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1734969>
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2023). *Indicadores económicos sector equino 2023*. https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/indicadoressectorequino2023_tcm30-576748.pdf
- Muñoz, A., Riber, C., Santisteban, R., Lucas, R. G., & Castejón, F. M. (2002). Effect of training duration and exercise on blood-borne substrates, plasma lactate and enzyme concentrations in Andalusian, Anglo-Arabian and Arabian breeds. *Equine veterinary journal. Supplement* 34, 245–251. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2002.tb05427.x>
- Nawrot, K., Soroko-Dubrovina, M., Zielińska, P., Dudek, K., & Howell, K. (2024). The Application of Infrared Thermography in the Assessment of BEMER Physical Vascular Therapy on Body Surface Temperature in Racing Thoroughbreds: A Preliminary Study. *Animals*, 14(11), 1538. <https://doi.org/10.3390/ani14111538>
- Ohmura, H., Matsui, A., Hada, T., & Jones, J. H. (2013). Physiological responses of young thoroughbred horses to intermittent high-intensity treadmill training. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 55, Article 59. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-55-59>
- Piccione G., Arfuso F. & Giudice E. (2025). Dynamic Adaptation of Hematological Parameters, Albumin, and Non-Esterified Fatty Acids in Saddlebred and Standardbred Horses During Exercise. *Animals (Basel)*, 15(3):300. <https://doi.org/10.3390/ani15030300>
- Poškienė, I., Gruodytė, R., Autukaitė, J., Juozaitienė, V., Antanaitis, R. & Speed, R. (2021) Blood Parameters Differ between Arabian and Žemaitukai Horses during Endurance Racing. *Animals*, 11, 995. <https://doi.org/10.3390/ani11040995>
- Rashkovska, A., Depolli, M., Tomašić, I., Avbelj, V., & Trobec, R. (2020). Medical-Grade ECG Sensor for Long-Term Monitoring. *Sensors*, 20(6), 1695. <https://doi.org/10.3390/s20061695>
- Ringmark, S., Lindholm, A., Hedenström, U., Lindinger, M., Dahlborn, K., Kvart, C. & Jansson, A. (2015). Reduced high intensity training distance had no effect on $\dot{V}_{La4}$ but attenuated heart rate response in 2-3-year-old Standardbred horses. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 57, Article 17. <https://doi.org/10.1186/s13028-015-0107-1>
- Rose, R. J., Hodgson, D. R., Sampson, D., & Chan, W. (1983). Changes in plasma biochemistry in horses competing in a 160 km endurance ride. *Australian veterinary journal*, 60(4), 101–105. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.1983.tb05905.x>

- Rogers, C.W., Bolwell, C.F. & Gee, E.K. (2007). The use of demographic data to investigate the age at peak racing performance in Thoroughbred racehorses. *New Zealand Veterinary Journal*, 55(6), 293–298.
- Snow, D. H., Harris, R. C., & Gash, S. P. (1985). Metabolic response of equine muscle to intermittent maximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 58(5), 1689–1697. <https://doi.org/10.1152/jappl.1985.58.5.1689>
- Soares, O. A. B., Ferraz, G. C., Trigo, P. I., D'Angelis, F. H. F., Feringer Júnior, W. H., Nardi, K. B., Almeida, F. Q., & Queiroz Neto, A. (2016). Comparison between specific and nonspecific tests for evaluating the physical fitness of show jumping horses. *Comparative Exercise Physiology*, 12(3), 131–140. <https://doi.org/10.3920/CEP160018>
- Soroko, M., & Howell, K. (2018). Infrared thermography: Current applications in equine medicine. *Journal of Equine Veterinary Science*, 60, 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2016.11.002>
- Stefánsdóttir, G. J., Ragnarsson, S., Gunnarsson, V., & Jansson, A. (2014). Physiological response to a breed evaluation field test in Icelandic horses. *Animals*, 8(3), 431–439. <https://doi.org/10.1017/S1751731113002309>
- Taylor, W. T. T. (2025). Understanding horse domestication and horse health care in the ancient world. *Journal of Equine Veterinary Science*, 148, Article 105419. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2025.105419>
- Teixeira-Neto A., Guilherme, R., Guilherme C. & Moscardini A.R.C. (2008). Alterations in muscular enzymes of horses competing long-distance endurance rides under tropical climate. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 60(3):543-549. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352008000300004>
- Tyler-McGowan, C. M., Golland, L. C., Evans, D. L., Hodgson, D. R., & Rose, R. J. (2010). Haematological and biochemical responses to training and overtraining. *Equine Veterinary Journal Supplement*, 30, 621–625. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1999.tb05297.x>
- Valderrama Martínez, C., & Arias, M. P. (2020). Parámetros fisiológicos y estado ácido-base en caballos que compiten en una carrera de enduro de 80 km a 2600 metros sobre el nivel del mar. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 31(4), e19031. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rivep/v31n4/1609-9117-rivep-31-04-e19031.pdf>
- Verdegaal, E.-L. J. M. M., Howarth, G. S., McWhorter, T. J., Boshuizen, B., Franklin, S. H., Vidal Moreno de Vega, C., Jonas, S. E., Folwell, L. E., & Delesalle, C. J. G. (2021). Continuous monitoring of the thermoregulatory response in endurance horses and trotter horses during field exercise: Baseline for future hot weather studies. *Frontiers in Physiology*, 12, Article 708737. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.708737>
- von Lewinski, M., Biau, S., Erber, R., Ille, N., Aurich, J., Faure, J. M., Möstl, E., & Aurich, C. (2013). Cortisol release, heart rate and heart rate variability in the horse and its rider: different responses to training and performance. *Veterinary journal* 197(2), 229–232. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2012.12.025>
- Waller, A.P., Lindinger, M.I. (2010). Muscle fatigue and electrolyte disturbances during prolonged exercise in horses. *Equine Veterinary Journal Supplement*, 38, 122–127.
- Westermann, S., Buchner, H. H., Schramel, J. P., Tichy, A., & Stanek, C. (2013). Effects of infrared camera angle and distance on measurement and reproducibility of thermographically determined temperatures of the distal aspects of the forelimbs in horses. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 242(3), 388–395. <https://doi.org/10.2460/javma.242.3.388>
- Younes, M., Robert, C., Barrey, E., & Cottin, F. (2016). Effects of age, exercise duration,

and test conditions on heart rate variability in young endurance horses. *Frontiers in Physiology*, 7, Article 155. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00155>

Zuluaga-Cabrera, A. M., Casas Soto, M. J., Martínez Aranzales, J. R., Castillo Vane-gas, V. E., Correa Valencia, N. M. del P., &

Arias Gutiérrez, M. P. (2022). Hematological, biochemical, and endocrine parameters in acute response to increasing-intensity exercise in Colombian Paso horses. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 13(1), 211–224. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i1.5882>