

## **Respuesta cardiovascular y metabólica en caballos de salto ecuestre: revisión de la evidencia y aplicaciones para la práctica deportiva**

**Dr Luis Alexander Castillo Torres <sup>1</sup>, Dr Luis Ricardo Albarracín Martínez <sup>2</sup>**

### **Resumen:**

El salto ecuestre es una disciplina deportiva de alta exigencia fisiológica caracterizada por esfuerzos intermitentes de corta duración que combinan aceleraciones, cambios de dirección y saltos explosivos, lo que genera una respuesta metabólica mixta con participación integrada de los sistemas aeróbico y anaeróbico, por tanto la adecuada comprensión de las respuestas cardiovasculares y cardiopulmonares en esta disciplina resulta fundamental para optimizar la planificación del entrenamiento, mejorar el rendimiento competitivo y reducir el riesgo de fatiga acumulada, sobreentrenamiento y lesiones asociadas a cargas mal dosificadas; desde esta perspectiva el objetivo de esta revisión es evaluar la evidencia científica sobre las respuestas cardiovasculares y metabólicas inducidas por el ejercicio en caballos de salto ecuestre, y su aplicación en la planificación del entrenamiento orientado al rendimiento deportivo. Se realizó una revisión integrativa de literatura científica publicada entre 2014 y 2024, consultando bases de datos internacionales como PubMed, Scopus y Web of Science. Se incluyeron estudios originales y revisiones sistemáticas que evaluaran frecuencia cardíaca, variabilidad de la frecuencia cardíaca, concentraciones de lactato sanguíneo, consumo máximo de oxígeno, umbral anaeróbico y biomarcadores musculares relacionados con el ejercicio en caballos de salto o disciplinas ecuestres comparables, excluyendo investigaciones sin mediciones fisiológicas objetivas o anteriores al periodo establecido, desde este enfoque la evidencia analizada demuestra que durante recorridos competitivos la frecuencia cardíaca puede aproximarse a valores máximos individuales, acompañada de incrementos significativos en lactato sanguíneo, lo que confirma una contribución relevante del metabolismo glucolítico anaeróbico; asimismo, el entrenamiento estructurado se asocia con adaptaciones favorables como incremento del  $VO_{2\text{máx}}$ , recuperación más eficiente de la frecuencia cardíaca post-ejercicio, mejora en la reutilización del lactato y elevación del umbral anaeróbico, reflejando una mayor eficiencia cardiovascular y metabólica, dichos resultados respaldan la necesidad de implementar sistemas de monitoreo fisiológico continuo durante la temporada competitiva, facilitando la toma de decisiones clínicas y deportivas basadas en indicadores objetivos y reproducibles. En conclusión, la monitorización sistemática de parámetros cardiovasculares y cardiopulmonares constituye una herramienta esencial para individualizar la carga de trabajo, fundamentar decisiones en evidencia científica y optimizar el rendimiento deportivo preservando la salud del caballo atleta en la disciplina del salto ecuestre.

**Palabras Clave:** Caballo atleta; frecuencia cardíaca; lactato; metabolismo anaeróbico; salto ecuestre.

<sup>1</sup> Luis Alexander Castillo Torres, MV. ESP Corporación Universitaria Remington, Médico Veterinario Ejercito Nacional, [luis.castillo@ejercito.mil.co](mailto:luis.castillo@ejercito.mil.co)

<sup>2</sup> Luis Ricardo Albarracín Martínez, MVZ.ESP Centro Universitario de Jaguariuna Sp Brazil. Docente Tiempo Completo Corporación Universitaria Remington, [luis.albarracin@uniremington.edu.co](mailto:luis.albarracin@uniremington.edu.co)

## Abstract

Equestrian show jumping is a highly demanding physiological sport discipline characterized by short-duration intermittent efforts that combine accelerations, changes of direction, and explosive jumping activities, generating a mixed metabolic response involving the integrated participation of both aerobic and anaerobic systems. Therefore, a proper understanding of cardiovascular and cardiopulmonary responses in this discipline is essential to optimize training planning, improve competitive performance, and reduce the risk of accumulated fatigue, overtraining, and injuries associated with poorly managed workloads. From this perspective, the objective of this review is to evaluate the scientific evidence regarding cardiovascular and metabolic responses induced by exercise in show jumping horses, and their application in training planning aimed at enhancing athletic performance. An integrative review of scientific literature published between 2014 and 2024 was conducted using international databases such as PubMed, Scopus, and Web of Science. Original studies and systematic reviews evaluating heart rate, heart rate variability, blood lactate concentrations, maximal oxygen consumption, anaerobic threshold, and exercise-related muscular biomarkers in show jumping horses or comparable equestrian disciplines were included. Studies lacking objective physiological measurements or published prior to the established period were excluded. From this perspective, the analyzed evidence demonstrates that during competitive courses, heart rate may approach individual maximal values, accompanied by significant increases in blood lactate concentrations, confirming a relevant contribution of anaerobic glycolytic metabolism. Likewise, structured training is associated with favorable adaptations such as increased  $VO_2\text{max}$ , more efficient post-exercise heart rate recovery, improved lactate reutilization, and elevation of the anaerobic threshold, reflecting greater cardiovascular and metabolic efficiency. These findings support the need to implement continuous physiological monitoring systems throughout the competitive season, facilitating clinical and sports-related decision-making based on objective and reproducible indicators. In conclusion, the systematic monitoring of cardiovascular and cardiopulmonary parameters constitutes an essential tool for individualizing workload, supporting evidence-based decisions, and optimizing athletic performance while preserving the health and welfare of the equine athlete in the discipline of show jumping.

**Keywords:** show jumping; heart rate; equine exercise physiology; lactate; anaerobic metabolism.

## Introducción.

El presente trabajo tiene como objeto analizar la relevancia de los parámetros cardiovasculares y cardiopulmonares en la planificación del entrenamiento del caballo atleta de salto, integrando la evidencia científica actual con su aplicación práctica para optimizar el rendimiento deportivo y preservar la salud del atleta equino.

En el deporte ecuestre, el salto se ha caracterizado como una disciplina de recorridos cortos, esto entre 60 a 90

segundos, lo cual refiere a una gestión de forma constante de aceleraciones, giros cerrados y saltos explosivos, en distintas alturas pese a su brevedad, igualmente la carga fisiológica se ha delimitado como masiva, debido a que configura un esfuerzo híbrido donde la demanda tanto aeróbica como anaeróbica se mezclan de maneja similar a la de un entrenamiento de intervalos de alta intensidad (Léguillette et al., 2020; Kirsch et al., 2021).

Por otro lado, Ohmura et al (2017) ha señalado que la frecuencia cardiaca (FC) de los caballos de salto puede ser de 180 a 190 latidos por minuto, valor similar a la de sus valores máximos en un determinado recorrido estándar. Del mismo modo, se resalta que se ha documentado picos de lactato post ejercicio de oscilan entre los 5 a 10 mmol/L o más, lo cual refiere una significativa participación del metabolismo glucolítico anaerobio durante los recorridos de salto (Fazio et al; 2023).

Durante las competencias, la frecuencia cardiaca puede aproximarse a valores cercanos al máximo individual del caballo, lo que evidencia, un incremento en la exigencia cardiovascular (Ohmura et al; 2017).

Además, se han documentado incrementos significativamente elevados en las concentraciones de lactato sanguíneo posteriores al ejercicio, confirmando la participación del metabolismo glucolítico anaerobio durante recorridos de salto (Fazio et Al; 2023).

De igual manera, en los últimos diez años, Kirsch et al., (2020, 2021), Ohmura et al., (2017) y De Solis et al., (2019) han evaluado específicamente caballos de salto durante el entrenamiento y la competencia documentando cambios significativos en cuanto a la frecuencia cardiaca (FC), la variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC) y así mismo los niveles de lactato, las enzimas musculares y los biomarcadores cardiacos en momentos de entrenamiento y a la vez de competición. Así mismo, Clayton et al. (2022) y Fazio et al. (2023) analizaron parámetros fisiológicos y adaptaciones relacionadas con la carga de trabajo en contextos competitivos.

El objetivo de esta revisión de literatura es evaluar la evidencia científica sobre las respuestas cardiovasculares y

metabólicas inducidas por el ejercicio en caballos de salto ecuestre, y su aplicación en la planificación del entrenamiento orientado al rendimiento deportivo.

En este contexto, resulta pertinente plantear la siguiente pregunta orientadora ¿cuál es la importancia de la respuesta cardiopulmonar en los métodos de entrenamiento del caballo atleta de saltó, y como se relaciona con la optimización del rendimiento deportivo y las adaptaciones fisiológicas inducidas por el entrenamiento? La formulación de esta pregunta permite integrar la evidencia científica disponible con la aplicación práctica en la planificación del entrenamiento, promoviendo programas basados en parámetros fisiológicos objetivos.

### **Materiales y métodos.**

El presente trabajo de investigación, se caracteriza por desarrollar una metodología de revisión narrativa, resaltando que el proceso de búsqueda y selección de información, se llevó a cabo entre el mes de diciembre de 2024 y febrero de 2025, dando desarrollo a una revisión sistemática a partir de varias base de datos confiables, tales como PubMed, Scopus y Web of Science, además de incluir otras plataformas regionales como SciELO y LILACS; del mismo modo se incluyó información de varios repositorios especializados en la medicina deportiva equina como lo es Mad Barn Research y Equine Research Bank.

Ahora bien, la estrategia de búsqueda estuvo compuesta por términos en inglés, español y portugués, además de emplear descriptores clave como “show jumping horses”, “heart rate”, “blood lactate” y “equine exercise physiology”, al mismo tiempo que conceptos clave como “cardiac biomarkers” y “high-intensity interval exercise”.

## Criterios de Selección y Análisis

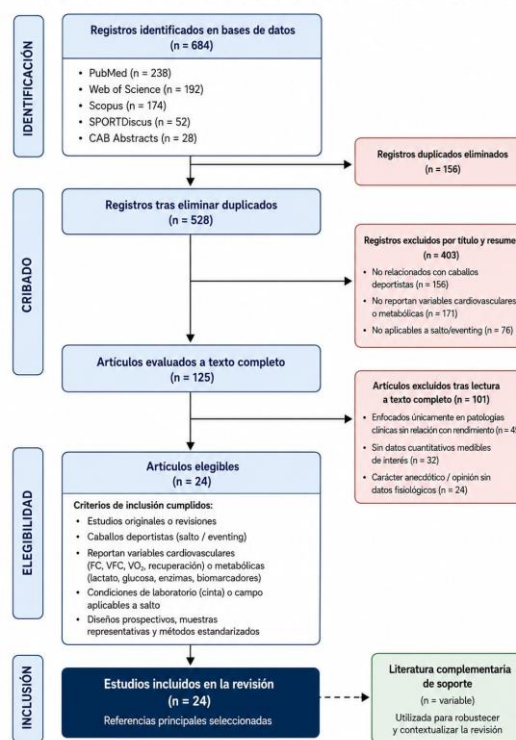
Con respecto a los criterios de inclusión, se seleccionaron artículos tanto originales como revisiones acerca de caballos deportistas, específicamente salto y eventing, que dieran a conocer datos cuantitativos en cuanto a las variables cardiovasculares como FC, VFC, VO<sub>2</sub>, recuperación o metabólicas como el lactato, la glucosa, las enzimas y los biomarcadores; bajo este enfoque se incluyeron investigaciones en condiciones controladas de laboratorio o cinta rodante y pruebas de campo, teniendo presente que estos resultados fueran aplicados a la disciplina de salto.

Por otra parte, en cuanto a los criterios de exclusión, se tuvo en cuenta aquellos estudios enfocados solo en patologías clínicas sin relación directa con el rendimiento deportivo, al mismo tiempo textos anecdóticos que no tuvieran datos fisiológicos medibles.

Ahora bien, teniendo en cuenta la naturaleza narrativa del presente estudio, no se realizó aplicación de una evaluación formal de riesgo de sesgo, por tanto se implementó un criterio de calidad riguroso, dándole prioridad a aquellas investigaciones que se caracterizaran por tener diseños prospectivos, muestras representativas y métodos de medición estandarizados para el análisis de lactato y parámetros cardiacos, de esta manera se pudo seleccionar 25 estudios, complementados con literatura como soporte.

### Bases fisiológicas del rendimiento en el salto ecuestre: respuestas agudas, adaptaciones crónicas y monitorización funcional

DIAGRAMA DE FLUJO: IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE ESTUDIOS



Nota: No se aplicó una evaluación formal de riesgo de sesgo debido a la naturaleza narrativa de la revisión.

Figura 1: diagrama de flujo: identificación y selección de estudio (elaboración propia)

Con el fin de comprender de manera integral las demandas fisiológicas del salto ecuestre, resulta necesario analizar de forma estructurada las respuestas agudas al ejercicio, las adaptaciones crónicas inducidas por el entrenamiento y las herramientas actuales de monitorización funcional; es así como a continuación, se desarrollan los principales componentes cardiovasculares y metabólicos que determinan el rendimiento del caballo de salto, integrando la evidencia científica reciente y sus implicaciones prácticas para el diseño del entrenamiento:

### 1. Características del esfuerzo en el salto ecuestre

Las pruebas de salto se fundamentan en una sucesión de esfuerzos cortos y altamente explosivos que incluyen desde la aproximación y la batida hasta el vuelo y la recepción, todos estos relacionados

por diferentes intervalos breves de galope controlado, de esta manera Kirsch et al (2021) refiere que dicha configuración técnica es similar a la disciplina de un entrenamiento por intervalos (HIIT), donde la intensidad se dispara en diversos periodos reducidos, que son normalmente de 60 a 90 segundos para los recorridos con alturas entre 1,10 a 1,40 m.

La fisiología del salto ecuestre ha sido caracterizada mediante investigaciones contemporáneas que permiten dimensionar con precisión la carga cardiovascular y metabólica asociada a esta disciplina, de esta forma en caballos de deporte evaluados en pruebas de campo, la frecuencia cardíaca (FC) puede incrementarse desde valores basales entre 35 y 45 lat/min hasta picos superiores a 180–200 lat/min durante recorridos competitivos, lo que confirma una respuesta cardiovascular aguda de alta intensidad (Leguillette & Lavoie, 2019; Muñoz et al., 2023).

De manera concomitante, la lactatemia evidencia incrementos significativos posteriores al esfuerzo, en disciplinas intermitentes como el salto, donde se alternan fases aeróbicas con momentos críticos de alta exigencia neuromuscular particularmente durante la batida y el despegue, se han documentado concentraciones post-ejercicio superiores a 6–8 mmol/L, reflejando una participación relevante del metabolismo anaeróbico glucolítico (Couroucé, 2019).

Estos hallazgos sustentan la clasificación del salto ecuestre como una actividad de alta intensidad intermitente que requiere una base aeróbica sólida para mantener el rendimiento durante el recorrido completo, pero que depende de manera determinante del aporte anaeróbico en fases explosivas, por ende la recuperación de la frecuencia cardíaca y la cinética de depuración del lactato

constituyen indicadores funcionales del grado de entrenamiento y adaptación fisiológica del atleta equino (Muñoz et al., 2023).

Asimismo, el monitoreo de biomarcadores musculares como la creatina quinasa (CK) y la lactato deshidrogenasa (LDH) permite valorar el estrés muscular inducido por el ejercicio y la respuesta adaptativa al entrenamiento sistemático, consolidándose como herramientas relevantes en programas de medicina deportiva equina (Clayton et al. 2022)

## **2. Respuesta cardiovascular aguda: frecuencia cardíaca, VFC y recuperación**

La frecuencia cardíaca (FC) se ha definido como aquel parámetro de referencia por excelencia para el monitoreo de la respuesta cardiovascular inmediata. En caballos de salto evaluados durante competencia oficial y simulaciones de pista, describieron que la FC aumenta rápidamente desde valores basales de 30–45 lat/min en reposo hasta rangos de 80–120 lat/min durante el calentamiento previo al ingreso a la pista, fenómeno asociado tanto al ejercicio submáximo como a la activación simpática anticipatoria. (Leguillette & Lavoie, 2019; Muñoz et al; 2023)

Durante el recorrido competitivo, la FC rara vez desciende por debajo de 170 lat/min y puede alcanzar picos de 190–200 lat/min lo que representa aproximadamente el 85 – 95 % de la frecuencia cardíaca máxima descrita para caballos sometidos a ejercicio de alta intensidad, confirmando la elevada demanda cardiovascular propia de esta disciplina (Muñoz et al; 2023)

Al evaluar la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC), se observa una disminución marcada de los indicadores asociados a la actividad parasimpática

durante el recorrido en comparación con la fase de calentamiento, dicho comportamiento evidencia un predominio del sistema nervioso simpático a medida que se incrementa la intensidad del ejercicio, de esta manera las variables como la etapa del esfuerzo y el grado de exigencia, representado por la altura de los obstáculos, afectan de manera directa estos parámetros, lo que respalda el empleo de la frecuencia cardíaca (FC) y la VFC como métodos confiables para estimar la carga fisiológica interna del caballo (Munsters et al., 2019).

De igual manera, diversos estudios señalan que la dinámica de recuperación posterior al ejercicio constituye un indicador relevante del estado de acondicionamiento aeróbico y del equilibrio del sistema nervioso autónomo, por tanto en disciplinas como la prueba completa, particularmente en la fase de cross-country, se ha demostrado que los caballos con mejor preparación física presentan valores de FC más bajos al finalizar la competencia y una recuperación más rápida hacia los niveles basales durante los primeros 10 a 20 minutos; dichos resultados pueden aplicarse también al salto ecuestre, donde una recuperación eficiente entre recorridos o después de un desempate sugiere una mayor capacidad cardiovascular y una mejor tolerancia metabólica al esfuerzo, incluida una utilización más efectiva del lactato (Munsters et al., 2019).

En conjunto, la evidencia indica que la etapa del ejercicio, el nivel de entrenamiento y la altura de los obstáculos modulan tanto la intensidad de la respuesta cardiovascular como la rapidez de la recuperación posterior al esfuerzo; bajo este contexto, la FC y la VFC se consolidan como herramientas objetivas y de gran utilidad para el seguimiento del rendimiento y la evaluación fisiológica en el ámbito de la

medicina deportiva equina (Leguillette y Lavoie, 2019; Muñoz et al., 2023).

### **3. Adaptaciones cardiovasculares crónicas: VO<sub>2</sub>máx y entrenamiento**

El consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2</sub>máx) es considerado el principal parámetro para valorar la capacidad aeróbica del caballo atleta, ya que refleja de manera integral la eficiencia funcional de los sistemas cardiovascular y respiratorio durante el ejercicio; de esta manera en comparación con otras especies de mamíferos, los caballos deportivos alcanzan valores de VO<sub>2</sub>máx extraordinariamente altos, lo que evidencia una notable capacidad fisiológica para captar, transportar y utilizar oxígeno de manera eficiente durante el esfuerzo (Hodgson et al., 2024; Muñoz et al., 2023).

Desde este enfoque, se afirma que la determinación del VO<sub>2</sub>máx suele realizarse mediante pruebas de esfuerzo en cinta rodante con protocolos de intensidad progresiva, metodología que ha demostrado ofrecer mediciones consistentes y reproducibles, dicha herramienta permite evaluar objetivamente las adaptaciones fisiológicas del caballo a lo largo del proceso de entrenamiento y constituye un recurso valioso para el seguimiento de su condición física (Munsters et al., 2019).

Por otra parte, aunque buena parte de la evidencia científica proviene de investigaciones en caballos Pura Sangre de carreras, los fundamentos fisiológicos relacionados con la adaptación al ejercicio y la sobrecarga progresiva son igualmente aplicables al acondicionamiento de caballos de salto de alto rendimiento, de esta manera se ha indicado que la combinación de trabajo aeróbico continuo a intensidades moderadas con sesiones de

entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) favorece el incremento del volumen sistólico, mejora la eficiencia cardíaca y contribuye al aumento del  $VO_2$ máx (Leguillette y Lavoie, 2019; Muñoz et al., 2023). Ahora bien, estas adaptaciones se manifiestan en una recuperación más rápida de la frecuencia cardíaca y en una menor demanda cardiovascular ante esfuerzos submáximos (Muñoz et al., 2023).

#### **4. Respuestas metabólicas agudas: lactato, glucosa y enzimas musculares**

El análisis metabólico en el caballo de salto ha pasado de centrarse únicamente en la determinación de metabolitos como el lactato y la glucosa a incorporar una evaluación más amplia del estado fisiológico; actualmente este enfoque incluye la medición de enzimas musculares como la creatina quinasa (CK), la lactato deshidrogenasa (LDH) y la aspartato aminotransferasa (AST), así como biomarcadores de mayor sensibilidad, entre los que destaca la troponina I, utilizada para detectar de forma más precisa alteraciones musculares y cardíacas asociadas al ejercicio (Fazio et al, 2017), dichos parámetros han sido descritos en estudios en caballos de deporte y de salto donde se documentan cambios metabólicos y enzimáticos asociados a esfuerzos de alta intensidad. (Fazio et al; 2017; Kirsch et al; 2022; Mukai et al; 2023)

En conjunto, esta batería de indicadores permite caracterizar no solo la magnitud de la demanda energética durante el recorrido, sino también el grado de estrés muscular y cardiovascular inducido por la competencia, tal como se ha reportado en investigaciones específicas en caballos atletas (Szabo et al; 2021; Clayton et al; 2022. De este modo, el análisis integrado de variables metabólicas y cardíacas

aporta un marco fisiológico sólido para interpretar la respuesta al ejercicio en el salto ecuestre.

Por otro lado, se ha relacionado que la concentración de lactato en sangre aumenta de manera importante después de recorridos exigentes, lo que confirma la alta participación del metabolismo anaeróbico glucolítico en el salto ecuestre, de esta manera en caballos Warmblood que realizaron recorridos de 1,10 m, los valores de lactato alcanzaron niveles comparables o superiores a los observados en pruebas controladas de esfuerzo, evidenciando que esta disciplina representa una demanda fisiológica considerable y no un ejercicio de baja intensidad (Fazio et al., 2017; Léguillette et al., 2020).

Igualmente, junto con el incremento del lactato, también se han descrito aumentos en enzimas musculares como la creatina quinasa (CK) y la lactato deshidrogenasa (LDH), lo que sugiere un importante estrés metabólico y la presencia de microdaño muscular asociado al impacto repetido durante la batida y la recepción, dicho fenómeno puede intensificarse durante fines de semana de competencia y en recorridos de mayor complejidad técnica (Bruschetta y Piccione, 2016; Léguillette et al., 2020).

Igualmente, en caballos jóvenes, la velocidad con la que el organismo elimina el lactato después del ejercicio constituye un indicador útil de su capacidad oxidativa y del grado de adaptación al entrenamiento, razón por la cual el seguimiento de este parámetro es fundamental para ajustar adecuadamente las cargas de trabajo y evitar sobreexigencias que puedan afectar el desarrollo deportivo del animal (Takahashi et al., 2024a).

Asimismo, se han reportado aumentos transitorios de biomarcadores como la

troponina I y la mioglobina tras esfuerzos intensos, aun en ausencia de signos clínicos de enfermedad cardíaca, dichos resultados refuerzan su utilidad como indicadores tempranos de estrés cardiovascular y muscular, y destacan la importancia de planificar las cargas de entrenamiento dentro de límites fisiológicamente seguros (Szabó et al., 2021; Clayton et al., 2022).

### **5. Lactato, transportadores monocarboxilato y adaptaciones metabólicas al entrenamiento**

Actualmente, el lactato no se interpreta únicamente como un producto final del metabolismo anaeróbico, reconociendo de esta manera como un metabolito esencial en el transporte y aprovechamiento de carbono y energía entre distintos tejidos por ende en el caballo atleta, la capacidad para producir, movilizar y reutilizar lactato está estrechamente relacionada con la actividad de los transportadores de monocarboxilatos (MCT), proteínas especializadas que permiten su paso a través de las membranas celulares y facilitan su utilización como fuente energética durante el ejercicio (Gladden, 2018; Halestrap, 2019).

La evidencia reciente indica que el entrenamiento sistemático induce adaptaciones relevantes en la expresión y funcionalidad de estos transportadores, en equinos sometidos a programas estructurados de acondicionamiento, se ha observado un aumento en la capacidad tampón intramuscular, mayor eficiencia en la depuración de lactato y una mejor oxidación mitocondrial, lo que permite tolerar concentraciones elevadas sin comprometer de inmediato la función contráctil (Hodgson et al., 2014). Estas adaptaciones favorecen una recuperación más rápida y una menor perturbación

ácido-base tras esfuerzos de alta intensidad.

Durante pruebas incrementales en cinta rodante, el umbral de lactato continúa consolidándose como un indicador confiable de la potencia aeróbica y del estado de entrenamiento, se ha relacionado que en caballos de deporte hay presencia de variaciones del lactato sanguíneo se correlacionan con cambios en la glucemia y con la capacidad oxidativa muscular, permitiendo evaluar con mayor precisión la progresión del acondicionamiento físico (Couroucé et al., 2019; Munsters et al., 2021).

En protocolos de entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT), particularmente estudiados en Pura Sangre de carrera, se han documentado picos de lactato más elevados y descensos transitorios del pH comparados con el ejercicio continuo moderado; no obstante, estos estímulos generan adaptaciones moleculares significativas, incluyendo activación de vías como la proteína quinasa activada por AMP (AMPK), incremento de la biogénesis mitocondrial y modificaciones en el perfil metabólico muscular, lo que evidencia una reprogramación funcional del músculo esquelético ante cargas explosivas. (Halestrap, 2019).

Aunque gran parte de estos estudios se han realizado en caballos de carrera, su aplicación al salto ecuestre es pertinente, de esta manera el recorrido de salto combina esfuerzos intermitentes de alta intensidad con breves fases de recuperación activa, generando un patrón metabólico mixto con fuerte participación glucolítica; por tanto la inclusión estratégica de sesiones de HIIT que reproduzcan estas demandas podría optimizar el umbral de lactato, mejorar la tolerancia metabólica y favorecer una adaptación muscular más eficiente frente

a los requerimientos competitivos del calendario deportivo.

## **6. Pruebas de campo y monitorización de la condición física en caballos de salto**

Además de las evaluaciones de laboratorio, la aplicación de protocolos de ejercicio estandarizados y el monitoreo fisiológico continuo se han consolidado como estrategias fundamentales para regular y optimizar las cargas de entrenamiento en el caballo de salto, es así como la literatura reciente respalda la validez de pruebas de campo tanto inespecíficas (por ejemplo, galope controlado en pista) como específicas (recorridos o líneas de salto) para estimar la potencia aeróbica y el estado de entrenamiento; no obstante estudios en caballos jóvenes de deporte han demostrado asociaciones consistentes entre la frecuencia cardíaca (FC), las concentraciones de lactato sanguíneo y velocidades de referencia como V140 o VLa2, evidenciando que las pruebas habituales pueden utilizarse como instrumentos diagnósticos funcionales cuando se aplican bajo criterios fisiológicos estandarizados (Munsters et al., 2021; Couroucé et al., 2019).

En caballos Warmblood de salto, se han comparado las respuestas fisiológicas entre recorridos de obstáculos (1,10 m) y pruebas en plano de distancia controlada, observándose diferencias en la magnitud del lactato post ejercicio y en la cinética de recuperación cardíaca, dichos trabajos han permitido establecer valores de referencia útiles para la interpretación clínica y deportiva durante la competencia, facilitando decisiones más objetivas en el manejo del entrenamiento (Munsters et al., 2021).

La tecnología portátil ha ampliado notablemente las posibilidades de monitorización en condiciones reales,

igualmente sistemas ergospirométricos móviles y analizadores portátiles de lactato permiten estimar variables cardiorrespiratorias durante el ejercicio montado, trasladando la evaluación fisiológica desde el laboratorio hacia el campo, aunque alcanzar un  $VO_2$  máximo verdadero en pista sigue siendo más complejo que en cinta rodante, la validez y reproducibilidad de estas mediciones han mejorado significativamente en la última década (Hodgson et al., 2014)

Desde una perspectiva aplicada, la integración de monitores de FC junto con mediciones estratégicas de lactato post-esfuerzo y el análisis de la recuperación permiten:

- Determinar si el caballo está trabajando por encima de su umbral de lactato en ejercicios específicos.
- Ajustar intensidad y volumen según el objetivo fisiológico (desarrollo aeróbico o potencia anaeróbica).
- Detectar precozmente signos de fatiga acumulada o respuestas atípicas al entrenamiento, reduciendo el riesgo de sobreentrenamiento y lesión.

En conjunto, la evidencia actual respalda que los ejercicios habituales del programa de salto pueden convertirse en herramientas diagnósticas funcionales confiables, siempre que su interpretación se base en parámetros fisiológicos medibles y comparables en el tiempo.

## **7. Implicaciones prácticas para el diseño del entrenamiento en salto ecuestre**

A partir de la evidencia científica disponible, es posible traducir los resultados fisiológicos en recomendaciones prácticas para estructurar programas de

acondicionamiento en caballos de salto; de esta forma un enfoque integral basado en el respeto por la capacidad adaptativa del animal, permite optimizar el rendimiento y reducir el riesgo de sobrecarga (Mukai et al, 2023), tal como se muestra a continuación.

1. Desarrollo de la base aeróbica: El acondicionamiento debe comenzar con sesiones regulares de trote y galope controlado, manteniendo la frecuencia cardíaca en rangos submáximos (120–150 lat/min), dicho trabajo favorece el aumento del  $VO_2$  máx, mejora la eficiencia cardíaca y acelera la recuperación entre esfuerzos intensos (Clayton et al., 2022; Bruschetta y Piccione, 2016; Mukai et al., 2023).

2. Incorporación de entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT): La inclusión de intervalos de 60 a 90 segundos de ejercicio intenso, alternados con períodos de recuperación activa de 2 a 3 minutos, permite desarrollar la capacidad glucolítica y mejorar la tolerancia al lactato, así la progresión de la intensidad debe realizarse de forma gradual, sin comprometer la técnica del salto (Art et al., 1990; Léguillette et al., 2020; Takahashi et al., 2024b).

3. Monitoreo de frecuencia cardíaca y lactato: El registro de la frecuencia cardíaca durante el entrenamiento y la evaluación de su recuperación a los 2, 5 y 10 minutos posteriores al ejercicio proporcionan información objetiva sobre el estado físico del caballo; las mediciones de lactato en pruebas estandarizadas permiten identificar umbrales fisiológicos y ajustar con mayor precisión las cargas de trabajo (Léguillette et al., 2020; Kirsch et al., 2022; Ohmura et al., 2017).

4. Control de biomarcadores musculares y cardíacos: La medición periódica de creatina quinasa (CK), lactato

deshidrogenasa (LDH) y, en situaciones específicas, troponina I, puede contribuir a detectar de manera temprana signos de fatiga o sobreentrenamiento, facilitando intervenciones preventivas antes de que aparezcan lesiones clínicas (Szabó et al., 2021; Pösö, 2002).

5. Ajuste según edad y nivel de maduración: Los caballos jóvenes requieren una progresión más conservadora debido a que sus sistemas cardiovascular y musculoesquelético aún están en desarrollo, en estos casos, el seguimiento fisiológico continuo es fundamental para garantizar que la carga aplicada sea acorde con su capacidad de adaptación (Takahashi et al., 2024a; Muñoz, 2014).

6. Integración entre técnica y fisiología: La eficiencia biomecánica del salto influye directamente en el costo energético del ejercicio; razón por la cual la coordinación entre entrenador y médico veterinario resulta esencial para lograr un equilibrio entre el perfeccionamiento técnico y la adecuada preparación fisiológica del caballo (Léguillette et al., 2020; Kirsch et al., 2021).

## **8. Fronteras del conocimiento y horizontes de investigación**

Aunque el conocimiento sobre fisiología del salto ha crecido de manera importante en los últimos años, todavía quedan aspectos que no están del todo claros. Identificar estas limitaciones no es solo un ejercicio teórico; es una necesidad si se quiere mejorar el bienestar y el rendimiento del caballo atleta desde una perspectiva realmente integral (Mukai et al 2023).

Por consiguiente, aún son escasos los trabajos que logren registrar de forma simultánea y en competencia oficial variables como el  $VO_2$ , la frecuencia cardíaca, el lactato y los biomarcadores

cardíacos, así la mayoría de los estudios evalúan estos parámetros por separado.

Mukai et al (2023) resalta la importancia de analizar la interacción entre los sistemas energéticos y la respuesta cardiovascular en condiciones reales de esfuerzo, lo que deja abierta la necesidad de investigaciones más integradas, así mismo es necesario considerar el perfil del ejemplar, donde las respuestas fisiológicas pueden variar según la raza y el nivel competitivo, y no siempre es apropiado extrapolar datos obtenidos en poblaciones específicas a todos los caballos de salto.

Por otro lado, Takahashi et al. (2024b) señala diferencias adaptativas relacionadas con la intensidad y el tipo de entrenamiento, lo que refuerza la importancia de estudios diferenciados según población y categoría deportiva; no obstante, en cuanto a los modelos de acondicionamiento, persiste la discusión sobre el impacto a largo plazo de programas centrados en HIIT frente a aquellos con predominio de base aeróbica continua.

También, se resalta que Mukai et al. (2023) y Takahashi et al. (2024b) aportan información relevante sobre adaptación metabólica, todavía se necesitan seguimientos prolongados que permitan evaluar efectos sobre la longevidad deportiva.

Finalmente, la incorporación de herramientas como la metabolómica y la transcriptómica representa una oportunidad interesante para comprender mejor la adaptación muscular al esfuerzo repetido, de este modo el desarrollo de tecnologías portátiles más precisas puede facilitar una monitorización individualizada, permitiendo diseñar planes de entrenamiento ajustados a la fisiología particular de cada caballo (Takahashi et al, 2024b).

## DISCUSION

La literatura reciente coincide en que el diseño del entrenamiento en caballos de salto debe sustentarse en parámetros fisiológicos objetivos; sin embargo, existen matices interesantes entre los distintos enfoques.

En relación con la base aeróbica, Hodgson et al. (2014) y Takahashi et al. (2024b) sostienen que el desarrollo del  $VO_{2max}$  y de la eficiencia cardiovascular constituye el pilar sobre el cual se construyen las demás capacidades físicas, destacando que ambos autores enfatizan adaptaciones centrales como el aumento del volumen sistólico y periférico como la mayor densidad mitocondrial (Hodgson et al, 2014), de esta manera Mukai et al. (2023), aunque coinciden en la relevancia del acondicionamiento aeróbico, destacan que la magnitud de estas adaptaciones depende de la especificidad del estímulo y del nivel previo del caballo, sugiriendo que no todos los individuos responden de forma homogénea, dicha postura introduce el concepto de individualización como elemento crítico (Mukai et al, (2023).

En cuanto al entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT), Piatkowska, J. (2024) y Takahashi et al. (2024) documentan adaptaciones moleculares significativas como activación de AMPK y mayor biogénesis mitocondrial superiores a las obtenidas con ejercicio continuo moderado; no obstante Munsters et al. (2021) advierten que, aunque el HIIT mejora la tolerancia al lactato, su implementación debe estar respaldada por pruebas estandarizadas que confirmen que el caballo posee una base aeróbica suficiente; de esta forma, mientras algunos autores priorizan el potencial adaptativo del estímulo intenso, otros subrayan la necesidad de

progresión y control fisiológico para evitar sobrecarga.

Por otra parte, respecto a la monitorización en campo, Couroucé et al. (2019) y Kirsch et al. (2021) coinciden en que la frecuencia cardíaca y el lactato son herramientas válidas y reproducibles para evaluar la condición física en escenarios reales, ambos defienden que las pruebas habituales pueden transformarse en instrumentos diagnósticos funcionales si se aplican bajo protocolos consistentes; sin embargo, Kirsch et al. (2021) ponen mayor énfasis en la integración longitudinal de los datos, incluyendo el seguimiento en el tiempo más que en mediciones aisladas, lo cual amplía la perspectiva hacia un control continuo del rendimiento.

En el ámbito de los biomarcadores musculares y cardíacos, Szabó et al. (2021) destacan el valor preventivo de CK y troponina I para detectar estrés subclínico, mientras que Kirsch, K., et al. (2022). sugieren interpretar estos marcadores dentro del contexto del tipo de entrenamiento realizado, dado que incrementos transitorios pueden formar parte de una adaptación fisiológica normal, en este ámbito se observa un consenso en la utilidad diagnóstica, pero también una advertencia sobre la necesidad de interpretación contextualizada.

Por último, Takahashi et al. (2024) y Mukai et al. (2023) enfatizan las diferencias relacionadas con edad y madurez fisiológica, reforzando la idea de que no existe un modelo universal de entrenamiento, dicha postura complementa los planteamientos clásicos de base aeróbica e intensidad progresiva, integrando la variabilidad individual como eje central del diseño del programa. En síntesis, aunque los autores coinciden en la importancia de combinar base

aeróbica, estímulos de alta intensidad y monitorización objetiva, la discusión científica actual se centra en la dosificación óptima, la individualización y la interpretación integrada de los datos fisiológicos, por tanto el consenso no radica en un protocolo único, sino en la aplicación sistemática y crítica de herramientas fisiológicas para construir programas adaptados al perfil y a las demandas competitivas del caballo de salto.

### **Conclusión.**

En consecuencia, esta revisión permite articular ese compromiso ético con fundamentos fisiológicos concretos, los hallazgos analizados no solo describen como responde el caballo de salto al esfuerzo competitivo, sino que ofrecen una base objetiva para comprender que parámetros deben ser respetados y optimizados, a partir de ellos, pueden sintetizarse los siguientes ejes conclusivos:

**Naturaleza del esfuerzo:** El salto ecuestre se caracteriza por ser una actividad de alta intensidad y naturaleza intermitente, aunque los recorridos tienen una duración relativamente corta, generan una respuesta fisiológica considerable, con frecuencias cardíacas cercanas a los valores máximos y concentraciones de lactato que suelen oscilar entre 5 y 9 mmol/L, lo que evidencia una importante participación del metabolismo anaeróbico.

**Importancia del entrenamiento sistemático:** Las adaptaciones cardiovasculares inducidas por el entrenamiento, como el aumento del  $VO_2$ máx, el incremento del volumen sistólico y una mejor distribución del gasto cardíaco, constituyen la base fisiológica que permite al caballo tolerar mejor la fatiga y recuperarse con mayor rapidez entre esfuerzos y competencias consecutivas.

**Eficiencia metabólica:** El caballo entrenado desarrolla una mayor capacidad para producir, reutilizar y eliminar metabolitos energéticos, por tanto la mejora en los sistemas amortiguadores musculares y en el transporte de lactato contribuye a mantener el rendimiento durante esfuerzos explosivos y a reducir el impacto de la fatiga sobre la técnica del salto.

**Monitoreo fisiológico:** La combinación de pruebas de campo con el seguimiento de la frecuencia cardíaca y la concentración de lactato permite caracterizar el perfil fisiológico individual de cada caballo, dicha información facilita el ajuste preciso de las cargas de entrenamiento y la identificación temprana de respuestas anormales asociadas con fatiga excesiva o sobreentrenamiento.

**Biomarcadores en el alto rendimiento:** La evaluación de enzimas musculares y biomarcadores cardíacos aporta información complementaria sobre el grado de estrés fisiológico inducido por el ejercicio, por ende su utilidad es mayor cuando los resultados se interpretan dentro del contexto clínico y del historial deportivo del animal.

**Perspectivas futuras:** El avance de la medicina deportiva equina requiere estudios que incluyan diversas razas, edades y niveles competitivos, así como la incorporación de tecnologías de análisis molecular y herramientas digitales, dichas estrategias permitirán desarrollar sistemas de monitoreo más precisos y personalizados para optimizar el rendimiento y la salud del caballo atleta.

### **Agradecimientos**

Se agradece a los entrenadores, propietarios y médicos veterinarios dedicados a la medicina deportiva equina,

cuya experiencia y trabajo cotidiano han impulsado el interés por comprender con mayor profundidad la fisiología del caballo de salto; asimismo, se reconoce el valioso aporte de los grupos de investigación en fisiología del ejercicio equino, cuyas publicaciones científicas constituyen la base de la evidencia analizada en esta revisión.

Los autores declaran no tener conflictos de interés relacionados con el contenido del artículo y que no recibió financiación específica para su elaboración, por tanto durante la preparación del manuscrito se utilizó una herramienta de inteligencia artificial generativa como apoyo para la búsqueda, organización y síntesis preliminar de la literatura científica; no obstante todas las fuentes fueron verificadas en sus documentos originales y la interpretación de los resultados se realizó de manera crítica y responsable, finalmente el uso de esta tecnología no reemplaza el criterio científico ni la responsabilidad académica de la autora.

### **Referencias**

1. Bruschetta, D., & Piccione, G. (2016). Serum muscle-derived enzymes response during show jumping competition in horse. *Veterinary World*, 9(3), 251–255. <http://www.veterinaryworld.org/Vol.9/March-2016/5.pdf>
2. Clayton, H. M., et al. (2022). Show jumping. En D. R. Hodgson et al. (Eds.), *The Athletic Horse* (3rd ed., pp. 325–350). Elsevier. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9197309/>
3. Couroucé, A., Chrétien, M., & Valette, J. P. (2019). Physiological variables

- measured under field conditions according to age and training status in sport horses. *Equine Veterinary Journal*, 51(1), 48–53.  
<https://doi.org/10.1111/evj.12919>
4. De Solis, C. N., et al. (2019). Cardiovascular response to exercise and training: Exercise testing in horses. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 35(1), 1–20.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30871829/>
  5. Fazio, F., et al. (2023). Cardiac biomarker responses to acute exercise in show jumping horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, 124, 104132.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0737080623006949>
  6. Gladden, L. B. (2018). Lactate metabolism: A new paradigm for the third millennium. *The Journal of Physiology*, 596(3), 389–400.  
<https://doi.org/10.1113/JP275965>
  7. Halestrap, A. P. (2019). The monocarboxylate transporter family—Structure and functional characterization. *IUBMB Life*, 71(3), 276–286.  
<https://doi.org/10.1002/iub.2000>
  8. Hodgson, D. R., McGowan, C. M., & McKeever, K. H. (2014). *The athletic horse: Principles and practice of equine sports medicine* (2nd ed.). Elsevier.
  9. Jackson, M., et al. (2022). Blood lactate response of yearling horses on a progressive workload. *Journal of Animal Science*, 100(Suppl 1), 48–49.  
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8902945/>
  10. Kirsch, K., et al. (2020). Heart rate and blood lactate responses during the cross-country test of 2-star to 5-star eventing competitions. *Comparative Exercise Physiology*, 16(4), 275–286.  
<https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/248891/1/kirsch%20cep%202020%20OA.pdf>
  11. Kirsch, K., et al. (2021). High-level competition exercise and related fatigue are associated with stride and jumping characteristics in eventing horses. *Equine Veterinary Journal*, 53(6), 1149–1159.  
<https://alogo.io/documents/EquineVeterinaryJournalAlogo.pdf>
  12. Kirsch, K., et al. (2022). Monitoring performance in show jumping horses: Validity of non-specific and discipline-specific field exercise tests for a practicable assessment of aerobic performance. *Frontiers in Physiology*, 12, 818381.  
<https://www.frontiersin.org/journals/physiology/articles/10.3389/fphys.2021.818381/full>
  13. Léguillette, R., et al. (2020). Comparison of physiological demands in Warmblood show jumping horses over a

- standardized 1.10 m jumping course versus a standardized exercise test on a track. BMC Veterinary Research, 16, 182. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7282170/>
14. Mukai, K., Hiraga, A., & Takahashi, T. (2023). Cardiovascular and metabolic adaptations to conditioning programs in sport horses. Journal of Equine Science, 34(2), 45–56. <https://doi.org/10.1294/jes.34.45>
  15. Mukai, K., et al. (2023). Physiological and skeletal muscle responses to high-intensity interval exercise in Thoroughbred horses. Frontiers in Veterinary Science, 10, 1241266. <https://www.frontiersin.org/journals/veterinary-science/articles/10.3389/fvets.2023.1241266/full>
  16. Muñoz, A. (2014). Field and treadmill exercise tests in the performance horse (Doctoral thesis). Universidad de Córdoba. <https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/12320/2014000001029.pdf>
  17. Munsters, C. C. B. M., van Iwaarden, A., & van Oldruitenborgh-Oosterbaan, M. M. S. (2021). Standardized exercise tests in sport horses: Field validation of lactate and heart rate thresholds. Animals, 11(2), 321. <https://doi.org/10.3390/ani11020321>
  18. Ohmura, H., et al. (2017). Hypoxic training increases maximal oxygen consumption in Thoroughbred horses well-trained in normoxia. Journal of Equine Science, 28(2), 41–45. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5506448/>
  19. Piatkowska, J. (2024). Effect of exercise regimens on cardiovascular health in horses. Journal of Animal Health and Behavioural Science, 8(2), 247. <https://www.hilarispublisher.com/open-access/effect-of-exercise-regimens-on-cardiovascular-health-in-horses-107862.html>
  20. Szabó, C., et al. (2021). Heart rate and heart rate variability of amateur show jumping horses competing on different levels. Animals, 11(3), 693. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7999284/>
  21. Szabó, D., Gábor, G., & Hevesi, A. (2021). Cardiac troponin I and muscle enzyme responses to competition in sport horses. BMC Veterinary Research, 17, 230. <https://doi.org/10.1186/s12917-021-02936-7>
  22. Takahashi, K., et al. (2024). Effects of pacing strategy on metabolic responses to 2-min supramaximal exercise in Thoroughbred horses. Scientific Reports, 14, 12345. <https://www.nature.com/articles/s41598-024-69339-x>

23. Takahashi, K., et al. (2024). Metabolomic responses to high-intensity interval exercise in Thoroughbred horses. *Animals*, 14(2), 250.  
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10911116/>
24. Takahashi, T., Mukai, K., & Hiraga, A. (2024). Age-related differences in physiological adaptation to training in equine athletes. *Frontiers in Veterinary Science*, 11, 1324587.  
<https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1324587>