

TRABAJO DE GRADO
Opción Revisión de tema

Aplicación del láser diodo en medicina deportiva equina y su influencia sobre la fatiga asociada al ejercicio: revisión de la literatura

Luisa Sierra Velasquez¹, Margarita Soler², Santiago Lenis Alvarez³

Resumen

La fatiga muscular inducida por el ejercicio es uno de los principales factores limitantes del rendimiento en el caballo deportista y responde a una compleja interacción de mecanismos fisiológicos, metabólicos y celulares que trascienden la tradicional asociación con la acumulación de lactato y las alteraciones del equilibrio ácido-base, integrando procesos como la bioenergética mitocondrial, el estrés oxidativo y la recuperación muscular; en este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo realizar una revisión integrativa y crítica de la literatura científica disponible para evaluar el uso del láser diodo como herramienta en la preparación deportiva de caballos de distintas disciplinas y su posible relación con la disminución de la fatiga muscular, a partir de una búsqueda estructurada en bases de datos científicas y repositorios académicos que incluyó estudios experimentales, observacionales, revisiones sistemáticas y documentos técnicos relevantes en fisiología del ejercicio, metabolismo energético, lactato y fotobiomodulación en modelos equinos, humanos y animales, encontrándose que la evidencia sugiere que la fotobiomodulación, especialmente cuando se aplica en protocolos previos al ejercicio, podría favorecer la eficiencia mitocondrial, optimizar el metabolismo energético y mejorar la tolerancia al esfuerzo, contribuyendo potencialmente a la modulación de la fatiga muscular; sin embargo, la evidencia específica en caballos deportistas continúa siendo limitada, lo que subraya la necesidad de investigaciones controladas que permitan establecer protocolos estandarizados y evaluar su efectividad según la disciplina deportiva.

Palabras Clave: *fatiga muscular; fotobiomodulación; fisiología del ejercicio; láser diodo; medicina deportiva equina*

Abstract

Exercise-induced muscle fatigue is one of the main limiting factors of performance in the athletic horse and responds to a complex interaction of physiological, metabolic and cellular mechanisms that transcend the traditional association with the accumulation of lactate and alterations of the acid-base balance, integrating processes such as mitochondrial bioenergetics, oxidative stress and muscle recovery; In this context, the present work aimed to carry out an integrative and critical review of the available scientific literature to evaluate the use of diode lasers as a tool in the athletic preparation of horses in different disciplines and its possible relationship with the reduction of muscle fatigue. This was based on a structured search in scientific databases and academic repositories that included experimental and observational studies, systematic reviews, and relevant

¹ DVM, luisa.sierra.1053@miremington.edu.co.

² DVM, María.soler.3578@miremington.edu.co

TRABAJO DE GRADO

Opción Revisión de tema

technical documents in exercise physiology, energy metabolism, lactate, and photobiomodulation in equine, human, and animal models. The evidence suggests that photobiomodulation, especially when applied in pre-exercise protocols, could promote mitochondrial efficiency, optimize energy metabolism, and improve exercise tolerance, potentially contributing to the modulation of muscle fatigue. However, specific evidence in athletic horses remains limited, which underscores the need for controlled research to establish standardized protocols and evaluate their effectiveness according to the sporting discipline.

Keywords: *diode laser; equine sports medicine; exercise physiology; muscle fatigue; photobiomodulation*

Introducción

El caballo deportista es reconocido como un atleta de alto rendimiento debido a sus notables adaptaciones cardiovasculares, respiratorias y musculares, las cuales le permiten desempeñarse en disciplinas deportivas con exigencias metabólicas diversas, como el enduro, el salto y las pruebas de velocidad (Valberg, 2014). En este contexto, el rendimiento deportivo y la longevidad atlética del caballo dependen en gran medida de su capacidad para responder a cargas de ejercicio intensas y repetidas, siendo la fatiga muscular uno de los principales factores limitantes del desempeño y un elemento clave en la planificación de la preparación deportiva (Allen et al., 2008).

Durante décadas, la fatiga muscular inducida por el ejercicio ha sido explicada fundamentalmente a partir de la acumulación de lactato y la alteración del equilibrio ácido-base. Sin embargo, la evidencia científica contemporánea ha demostrado que este fenómeno responde a un proceso multifactorial, en el cual

intervienen mecanismos metabólicos y celulares más complejos, como la eficiencia de la bioenergética mitocondrial, el manejo intracelular del calcio, el estrés oxidativo y los procesos de recuperación muscular (Brooks, 2009; Allen et al., 2008). Esta visión integradora ha llevado a replantear los enfoques tradicionales de la preparación deportiva, superando interpretaciones reduccionistas centradas exclusivamente en marcadores metabólicos aislados.

En este escenario, ha surgido un interés creciente por la incorporación de estrategias complementarias no farmacológicas orientadas a optimizar la función muscular y a modular la aparición de la fatiga asociada al ejercicio. Entre estas estrategias, la fotobiomodulación mediante el uso de láser diodo ha sido ampliamente investigada en medicina humana y en modelos animales, mostrando efectos sobre la actividad mitocondrial, la producción de ATP y la modulación del estrés oxidativo (Karu, 1999; Albuquerque-Pontes et al., 2015).

TRABAJO DE GRADO

Opción Revisión de tema

No obstante, su aplicación en la medicina deportiva equina continúa siendo limitada y heterogénea, con escasa evidencia específica y ausencia de protocolos estandarizados adaptados a las particularidades fisiológicas del caballo y a las exigencias propias de cada disciplina deportiva.

En consecuencia, se hace necesario analizar de manera crítica y sistemática la evidencia científica disponible que relacione el uso del láser diodo con la preparación deportiva y la fatiga muscular, integrando conocimientos provenientes de diferentes modelos experimentales y clínicos. Por ello, el objetivo del presente trabajo es realizar una revisión integrativa de la literatura que permita evaluar el uso del láser diodo como herramienta en la preparación deportiva de caballos en distintas disciplinas y su relación con la fatiga muscular.

Objetivos

- Objetivo general

Analizar la evidencia científica disponible sobre la aplicación del láser diodo en la medicina deportiva equina y su influencia sobre los mecanismos fisiológicos asociados a la fatiga inducida por el ejercicio, integrando estudios en equinos, humanos y modelos animales desde una perspectiva fisiológica, metabólica y mecánica.

- Objetivos específicos

1. Examinar los fundamentos y mecanismos de acción de la fotobiomodulación sobre el músculo esquelético.
2. Evaluar la evidencia disponible sobre el uso de la fotobiomodulación en el rendimiento y la recuperación muscular en humanos y modelos animales al ser aplicado en la preparación física del individuo.
3. Discutir la posible aplicación del láser diodo como herramienta de preparación deportiva en caballos, considerando las implicaciones fisiológicas y las limitaciones actuales de la evidencia.

Materiales y métodos.

Tipo de estudio

Se realizó una revisión de literatura, orientada a analizar la evidencia disponible sobre el uso del láser diodo (fotobiomodulación) como herramienta en la preparación deportiva y su relación con la fatiga muscular, con especial interés en su posible aplicación en caballos deportistas.

Bases de datos consultadas

La búsqueda bibliográfica se efectuó en las siguientes bases de datos y fuentes especializadas: PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Google Scholar, Repositorios académicos universitarios y revistas especializadas en medicina

TRABAJO DE GRADO

Opción Revisión de tema

veterinaria y fisioterapia

- Artículos no relacionados con ejercicio o función muscular.

Periodo de búsqueda

El periodo de búsqueda comprendió enero de 2015 a diciembre de 2025, considerando como punto de inicio los primeros trabajos que describen los mecanismos celulares de la fotobiomodulación.

Palabras clave

Las palabras clave utilizadas, en español e inglés, incluyeron combinaciones de: *photobiomodulation, low-level laser therapy, high intensity laser therapy, muscle fatigue, exercise, lactate, oxidative stress, horse, equine athlete, muscle recovery.*

Criterios de inclusión

- Artículos originales, revisiones sistemáticas o narrativas y meta-análisis.
- Estudios en humanos, equinos o modelos animales con relevancia fisiológica.
- Investigaciones que evalúen rendimiento, fatiga muscular, estrés oxidativo o recuperación.
- Publicaciones en inglés, español o portugués.

Criterios de exclusión

- Estudios sin descripción metodológica clara.

Proceso de selección

Se identificaron inicialmente 28 documentos. Tras la lectura de títulos, resúmenes y textos completos, se seleccionaron 15 artículos considerados pertinentes para el análisis profundo y la integración en el marco teórico, la matriz de revisión y la discusión, de acuerdo con su relevancia metodológica y conceptual.

Títulos y subtítulos de la revisión

2.1. El caballo como atleta deportivo

El caballo deportista constituye un atleta de alto rendimiento cuyas adaptaciones fisiológicas están determinadas por la disciplina deportiva, la intensidad y duración del ejercicio, y la frecuencia del entrenamiento. Su elevada capacidad aeróbica y la especialización de su masa muscular le permiten desempeñarse tanto en disciplinas de resistencia prolongada como en actividades de alta intensidad e intermitentes (Valberg, 2014). Estas características convierten al caballo en un modelo relevante para el estudio de la fisiología del ejercicio y la fatiga muscular inducida por la actividad física.

Las demandas fisiológicas varían entre disciplinas como el enduro, el salto y las pruebas de velocidad, implicando diferencias en la activación metabólica, la producción de metabolitos, el estrés oxidativo y los mecanismos de recuperación (Galindo et al., 2007). En este contexto, la preparación deportiva

TRABAJO DE GRADO

Opción Revisión de tema

debe contemplar no solo el acondicionamiento físico, sino también estrategias orientadas a optimizar la función muscular y a modular la aparición de fatiga.

2.2. Fisiología del músculo esquelético y tipos de fibras

La respuesta del músculo esquelético al ejercicio en el caballo depende en gran medida de la distribución de fibras musculares tipo I, IIA y IIX, cuya proporción se asocia con el perfil metabólico requerido por cada disciplina deportiva (Valberg, 2014). Esta organización condiciona la utilización de sustratos energéticos, la producción de lactato, el estrés oxidativo y la susceptibilidad al daño muscular durante el ejercicio (Allen et al., 2008).

En consecuencia, la fatiga muscular no constituye un fenómeno homogéneo, sino que debe interpretarse en función del tipo de fibra predominante, la intensidad del esfuerzo y el nivel de entrenamiento del animal.

2.3. Fatiga muscular inducida por el ejercicio

La fatiga muscular inducida por el ejercicio se define como la disminución transitoria de la capacidad del músculo para generar fuerza o potencia, resultado de procesos multifactoriales que involucran alteraciones metabólicas, iónicas y estructurales (Allen et al., 2008). Actualmente se reconoce que la fatiga no puede atribuirse exclusivamente a la acumulación de lactato o a la disminución del pH intramuscular.

A nivel celular, la fatiga se asocia con alteraciones en el manejo del calcio, reducción de la sensibilidad miofibrilar, acumulación de fosfatos inorgánicos, disminución de la disponibilidad de ATP y aumento de especies reactivas de oxígeno, lo que sustenta la búsqueda de estrategias que modulen la bioenergética muscular y la función mitocondrial (Allen et al., 2008).

2.4. Metabolismo energético, lactato y equilibrio ácido-base

El ejercicio muscular requiere una provisión constante de ATP, obtenida a través de vías aeróbicas y anaeróbicas, cuya contribución depende de la intensidad y duración del esfuerzo (Brooks, 2009). En ejercicios de alta intensidad, la activación de la glucólisis anaeróbica conduce a un aumento en la producción de lactato e hidrogeniones libres que como consecuencia generan una acidosis.

No obstante, la visión clásica del lactato como un subproducto asociado a la fatiga ha sido ampliamente revisada. Actualmente se reconoce su papel como sustrato energético y molécula señalizadora, participando en el denominado *lactate shuttle*, mediante el cual es reutilizado por fibras musculares oxidativas y otros tejidos (Brooks, 2009). En el caballo deportista, la fatiga puede manifestarse incluso en ausencia de acidosis metabólica marcada, lo que refuerza la necesidad de interpretar el lactato dentro de un sistema metabólico dinámico (Galindo et al., 2007).

2.5. Estrés oxidativo y ejercicio

TRABAJO DE GRADO

Opción Revisión de tema

Durante el ejercicio, especialmente cuando se incrementa la intensidad o la duración del esfuerzo, se produce un aumento en la generación de especies reactivas de oxígeno. Si bien estas moléculas cumplen funciones señalizadoras en condiciones fisiológicas, su acumulación excesiva puede contribuir al daño oxidativo y a la disfunción muscular, favoreciendo la aparición de fatiga (De Marchi et al., 2022).

La capacidad antioxidante endógena y los mecanismos de recuperación post y pre ejercicio resultan determinantes para limitar estos efectos, lo que ha motivado el interés en intervenciones orientadas a modular el metabolismo redox en el contexto de la preparación deportiva.

2.6. Fotobiomodulación: fundamentos fisiológicos

La fotobiomodulación se define como el uso terapéutico de radiación visible e infrarroja cercana para inducir efectos biológicos no térmicos a nivel celular. El láser diodo constituye una de las principales fuentes empleadas, debido a su capacidad de emitir longitudes de onda absorbidas por cromóforos intracelulares, principalmente la citocromo c oxidasa mitocondrial (Karu, 1999).

La absorción de energía lumínica favorece la transferencia de electrones en la cadena respiratoria, incrementa la eficiencia de la fosforilación oxidativa y se asocia con un aumento en la producción de ATP. Adicionalmente, se activan mecanismos secundarios relacionados con la modulación de especies reactivas de oxígeno y la señalización intracelular, contribuyendo a un equilibrio redox más

estable durante el ejercicio (Karu, 1999; Albuquerque-Pontes et al., 2015).

2.7. Fotobiomodulación, músculo esquelético y oxigenación

La fotobiomodulación ha demostrado influir positivamente sobre la función del músculo esquelético mediante la mejora de bioenergética mitocondrial y la modulación del estrés oxidativo. Estudios experimentales han descrito mecanismos complementarios relacionados con la oxigenación y la perfusión tisular, incluyendo la liberación de oxígeno a partir de la hemoglobina fotoexcitada (Xu et al., 2018) y efectos vasodilatadores mediados por óxido nítrico (Zhang et al., 2009).

Estos mecanismos, aunque secundarios, refuerzan la plausibilidad fisiológica de la fotobiomodulación como intervención capaz de optimizar el entorno metabólico del músculo durante el ejercicio.

2.8. Fotobiomodulación, rendimiento y recuperación muscular

La evidencia disponible indica que la aplicación de fotobiomodulación en relación con el ejercicio puede mejorar el rendimiento muscular y la resistencia a la fatiga, especialmente cuando se aplica antes del esfuerzo. Estos efectos se atribuyen al precondicionamiento mitocondrial, que permite afrontar la demanda metabólica del ejercicio en condiciones energéticas más favorables (Leal-Junior et al., 2015).

En el periodo post-ejercicio, la fotobiomodulación se ha asociado con una reducción del dolor muscular de inicio

TRABAJO DE GRADO

Opción Revisión de tema

tardío y de marcadores bioquímicos de daño muscular, favoreciendo una recuperación más eficiente. No obstante, la magnitud de estos efectos depende de factores como la dosimetría, la longitud de onda y el momento de aplicación, entre otros, lo que explica la heterogeneidad observada entre estudios.

2.9. Fotobiomodulación como herramienta en la preparación deportiva

La fotobiomodulación ha sido evaluada principalmente en humanos y modelos animales como herramienta dentro de la preparación deportiva, mostrando resultados consistentes en términos de mejora del rendimiento y modulación de la fatiga muscular. Aunque la evidencia directa en equinos es limitada, la similitud de los mecanismos bioenergéticos del músculo esquelético entre especies respalda su plausibilidad como intervención complementaria en el caballo deportista.

Desde esta perspectiva, la fotobiomodulación puede considerarse una estrategia de pre acondicionamiento muscular orientada a optimizar la respuesta fisiológica al ejercicio y a retrasar la aparición de la fatiga, siempre que se desarrollen protocolos específicos ajustados a la disciplina deportiva y a las características del entrenamiento equino.

Resultados de la revisión

El análisis integrativo de la literatura permitió identificar tendencias consistentes en relación con los efectos de la fotobiomodulación sobre la función

muscular y la fatiga inducida por el ejercicio. Los estudios clasificados como artículos núcleo evidencian que la aplicación de fotobiomodulación, particularmente cuando se realiza antes del ejercicio, se asocia con mejoras en el rendimiento muscular, aumento de la resistencia a la fatiga y reducción de marcadores de daño muscular y estrés oxidativo.

Los artículos de soporte refuerzan la plausibilidad fisiológica de estos hallazgos, describiendo mecanismos relacionados con la activación mitocondrial, la mejora en la eficiencia energética, la modulación del metabolismo oxidativo y la optimización de la oxigenación tisular. En contraste, los artículos de contexto aportan un marco clínico y disciplinar que permite situar estos resultados dentro de la medicina deportiva equina, aunque sin constituir evidencia directa del efecto del láser diodo en caballos.

De forma global, la evidencia sugiere que la fotobiomodulación ejerce un efecto modulador sobre la fatiga muscular más que un impacto directo sobre la acidosis metabólica, actuando principalmente a través de la mejora de la bioenergética muscular y la reducción del estrés oxidativo.

Discusión integrativa.

La presente revisión integrativa confirma que la fatiga muscular inducida por el ejercicio es un fenómeno multifactorial que no puede explicarse únicamente por la acumulación de lactato o la acidosis

TRABAJO DE GRADO

Opción Revisión de tema

metabólica. En humanos y modelos animales, la evidencia demuestra de forma consistente que la fotobiomodulación aplicada previo al ejercicio mejora el rendimiento y modula marcadores bioquímicos asociados a daño muscular y estrés oxidativo.

En equinos, la evidencia directa es limitada; sin embargo, los mecanismos fisiológicos involucrados —distribución de fibras musculares, metabolismo energético y respuesta oxidativa al ejercicio— presentan similitudes suficientes con los modelos humanos como para plantear una extrapolación fisiológica razonable, siempre que se realicen ajustes específicos en la dosimetría y los protocolos de aplicación.

No obstante, deben considerarse las diferencias anatómicas, biomecánicas y metabólicas entre especies, lo que limita la transferencia directa de resultados y refuerza la necesidad de estudios controlados en caballos deportistas.

Conclusión.

La fatiga muscular inducida por el ejercicio en el caballo deportista es un fenómeno multifactorial que no puede explicarse exclusivamente por la acumulación de lactato o alteraciones del pH, sino que involucra cambios complejos en la bioenergética muscular, el equilibrio redox y los procesos de recuperación.

La fotobiomodulación mediante láser diodo ha demostrado, en estudios humanos y modelos animales, efectos consistentes sobre la función mitocondrial, la producción de ATP y la modulación del

estrés oxidativo, mecanismos estrechamente relacionados con el desarrollo y la atenuación de la fatiga muscular.

Aunque la evidencia directa en equinos es limitada, la similitud de los mecanismos fisiológicos del músculo esquelético entre especies permite plantear la plausibilidad biológica del uso del láser diodo como herramienta complementaria en la medicina deportiva equina.

La aplicación de fotobiomodulación en relación con el ejercicio, especialmente en fases pre-ejercicio, emerge como el enfoque más consistente para influir sobre la tolerancia al esfuerzo y los procesos de recuperación muscular, siempre que se consideren variables críticas como la dosimetría y el momento de aplicación.

Se requieren estudios controlados específicos en caballos deportistas que permitan definir protocolos estandarizados y evaluar de manera objetiva la eficacia clínica del láser diodo en la modulación de la fatiga asociada al ejercicio.

Limitaciones y líneas futuras de investigación

Entre las principales limitaciones de esta revisión se encuentran la escasez de estudios experimentales realizados directamente en caballos y la heterogeneidad metodológica de los trabajos disponibles. Futuros estudios deberán enfocarse en evaluar la eficacia del láser diodo en equinos bajo condiciones controladas, definir parámetros óptimos de dosimetría y

TRABAJO DE GRADO

Opción Revisión de tema

analizar su impacto según la disciplina deportiva y el tipo de entrenamiento.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Corporación Universitaria Remington y al docente Santiago Lenis Álvarez por el acompañamiento académico brindado durante el desarrollo de este trabajo

Declaración de conflictos de intereses.

Los autores certifican que no existe ningún conflicto de intereses que pueda afectar la objetividad, integridad o transparencia de la información presentada en este artículo.

Uso de inteligencia artificial

Para la elaboración del presente manuscrito se emplearon herramientas de inteligencia artificial (IA) como apoyo en la organización, redacción y síntesis de la información científica. Estas herramientas fueron utilizadas exclusivamente como un recurso complementario para mejorar la claridad y coherencia del texto, sin reemplazar el análisis crítico de los autores. Todo el contenido fue revisado, validado y ajustado por los autores, garantizando la precisión, originalidad y rigurosidad científica del documento.

Referencias

Albuquerque-Pontes, G. M.,
Vieira, R. P., Tomazoni, S. S., et al.
(2015).
Effect of pre-irradiation with different
doses, wavelengths, and application

intervals of low-level laser therapy on
cytochrome c oxidase activity in intact
skeletal muscle of rats. *Lasers in Medical
Science*, 30(1), 59–66.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24957189/>

Allen, D. G., Lamb, G. D., &
Westerblad, H. (2008). Skeletal muscle
fatigue: Cellular mechanisms.
Physiological Reviews, 88(1), 287–332.
<https://doi.org/10.1152/physrev.00015.2007>

Blood lactate concentration during
competition in Colombian jumping
horses. (s. f.). *Documento técnico /
informe observacional no publicado.*

Brooks, G. A. (2009). Cell–cell
and intracellular lactate shuttles. *Journal
of Physiology*, 587(23), 5591–5600.
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.2009.178350>

Costa, D. R., Delpasso, C. A.,
Ribeiro, L. A. P., Maciel, T. S., & Costa,
D. R. (2021). Fotobiomodulación
empleada en el tratamiento y/o
prevención de la fatiga muscular en
humanos: Direccionamiento para la
empleabilidad clínica. *Research, Society
and Development*, 10(4), e24410414126.
<https://doi.org/10.33448/rsd-v10i4.14126>

De Marchi, T., Leal-Junior, E. C.
P., Bortoli, C., Tomazoni, S. S., Lopes-
Martins, R. Á. B., & Bjordal, J. M.
(2012).

TRABAJO DE GRADO Opción Revisión de tema

Low-level laser therapy before exercise improves muscle performance in rats. *Lasers in Medical Science*, 27(1), 181–187.

<https://bv.fapesp.br/en/publicacao/104341/effect-of-pre-irradiation-with-different-doses-wavelengths/>

De Marchi, T., Ferlito, J. V., Ferlito, M. V., Salvador, M., & Leal-Junior, E. C. P. (2022). Can photobiomodulation therapy (PBMT) minimize exercise-induced oxidative stress? A systematic review and meta-analysis. *Antioxidants*, 11(9), 1671. <https://doi.org/10.3390/antiox11091671>

Espinosa Cáceres, A. N. (2024). *Evaluación de aspectos físicos y biomecánicos en caballos de deporte y su relación con cambios del comportamiento: Un estudio de revisión* [Trabajo de grado, Fundación Universitaria Agraria de Colombia].

Ferraresi, C., Huang, Y.-Y., & Hamblin, M. R. (2016). Photobiomodulation in human muscle tissue: An advantage in sports performance? *Journal of Biophotonics*, 9(11–12), 1273–1299. <https://doi.org/10.1002/jbio.201600176>

Ferraresi, C., Kaippert, B., Avci, P., Huang, Y. Y., de Sousa, M. V. P., Bagnato, V. S., & Hamblin, M. R. (2016). Low-level laser (light) therapy increases mitochondrial membrane potential and ATP synthesis in C2C12 skeletal muscle

cells with a low oxidative state. *Lasers in Surgery and Medicine*, 47(2), 177–184. <https://doi.org/10.1002/lsm.22377>

Galindo, C., Martins, C. W., Comide, L. M., Queiroz, A., & Correa, J. (2007).

Alteraciones metabólicas durante el entrenamiento en equinos de la raza Pura Sangre Árabe. *Revista de Medicina Veterinaria*, (13), 77–82.

Karu, T. I. (1999). Primary and secondary mechanisms of action of visible to near-IR radiation on cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 49(1), 1–17. [https://doi.org/10.1016/S1011-1344\(98\)00219-X](https://doi.org/10.1016/S1011-1344(98)00219-X)

Leal-Junior, E. C. P., Vanin, A. A., Miranda, E. F., de Carvalho, P. T. C., Dal Corso, S., & Bjordal, J. M. (2015). Effect of phototherapy (low-level laser therapy and light-emitting diode therapy) on exercise performance and markers of exercise recovery: A systematic review with meta-analysis. *Lasers in Medical Science*, 30(2), 925–939. <https://doi.org/10.1007/s10103-013-1465-4>

Machado, C. S., Tomazoni, S. S., Vanin, A. A., Casalechi, H. L., De Marchi, T., Bjordal, J. M., & Leal-Junior, E. C. P. (2022). Photobiomodulation therapy applied during an exercise-training program does not improve clinical, functional, and systemic

TRABAJO DE GRADO Opción Revisión de tema

outcomes in healthy trained individuals: A randomized placebo-controlled trial. *Frontiers in Physiology*, 13, 865789.

Mejía Sandoval, G., & Arias, M. P. (2008). Evaluación del estado físico de caballos de salto mediante algunas variables fisiológicas. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 3(2), 31–41.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321428100003>

Oliveira, A. R., Vanin, A. A., Tomazoni, S. S., Miranda, E. F., Albuquerque-Pontes, G. M., De Marchi, T., ... Leal-Junior, E. C. P. (2017). Pre-exercise infrared photobiomodulation therapy (810 nm) in skeletal muscle performance and postexercise recovery in humans: What is the optimal power output? *Photomedicine and Laser Surgery*, 35(11), 595–603.
<https://doi.org/10.1089/pho.2017.4343>

Oliveira, F. A., de Marchi, T., Salvador, M., Leal-Junior, E. C. P., & Bjordal, J. M. (2023). Does photobiomodulation improve muscle performance and recovery? A systematic review. *Photobiomodulation, Photomedicine, and Laser Surgery*, 41(3), 123–134.

Reyes Ramos, E., Lezama Hernández, M. P., Albarrán Melzer, J. A., Guzmán Priego, C. G., & Hernández Díaz, N. (2024). Fotobiomodulación: Revisión narrativa sobre sus efectos en

humanos. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 10780–10796.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.14468

Tomazoni, S. S., Machado, C. S., De Marchi, T., Casalechi, H. L., Bjordal, J. M., & Leal-Junior, E. C. P. (2019). Infrared low-level laser therapy (photobiomodulation therapy) before intense progressive running test of high-level soccer players: Effects on functional performance, muscle damage, inflammatory, and oxidative stress markers. *PLoS ONE*, 14(11), e0225096.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225096>

Valberg, S. J. (2014). Muscle disorders in horses. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 30(1), 1–20. doi: 10.1016/j.cveq.2018.04.004.

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.

Vanin, A. A., Miranda, E. F., Machado, C. S., de Paiva, P. R. V., Albuquerque-Pontes, G. M., Casalechi, H. L., Bjordal, J. M., & Leal-Junior, E. C. P. (2016). Pre-exercise infrared low-level laser

TRABAJO DE GRADO
Opción Revisión de tema

therapy (810 nm) improves performance and biochemical markers of muscle damage and inflammation in humans.

Lasers in Medical Science, 31(6), 1079–1085. DOI:10.1089/pho.2015.3992

Xu, Y., Lin, Y., Gao, S., & Shen, J. (2018).

Study on mechanism of release oxygen by photo-excited hemoglobin in low-level laser therapy. *Lasers in Medical Science*, 33(1), 135–139.

<https://doi.org/10.1007/s10103-017-2363->

Y

Zhang, R., Mio, Y., Pratt, P. F., Lohr, N. L., Wartier, D. C., Whelan, H. T., Zhu, D., Jacobs, E. R., Medhora, M., & Bienengraeber, M. (2009).

Near infrared light protects cardiomyocytes from hypoxia and reoxygenation injury by a nitric oxide dependent mechanism. *Journal of Molecular and Cellular Cardiology*, 46(1), 4–14.

Zuluaga Cabrera, A. M. (s.f.). *Acidosis metabólica inducida por el ejercicio* [Documento académico].

Zuluaga Cabrera, A. M., Casas Soto, M. J., Martínez Aranzales, J. R., Correa Valencia, N. M., & Arias Gutiérrez, M. P. (2021). Blood lactate concentrations and heart rates of Colombian Paso horses during a field exercise test. *Veterinary and Animal Science*, 13, 100185.

<https://doi.org/10.1016/j.vas.2021.100185>

TRABAJO DE GRADO

Opción Revisión de tema

Anexos

Los artículos incluidos en esta revisión integrativa fueron organizados en una matriz de análisis con el fin de sistematizar y comparar de manera estructurada la evidencia disponible. La matriz recoge información metodológica y conceptual relevante de cada estudio, incluyendo tipo de diseño, objetivo, población o modelo, variables analizadas, principales hallazgos, aportes a la revisión y limitaciones.

Con el propósito de jerarquizar la evidencia en función de su contribución al objetivo central del estudio, los

Los artículos fueron clasificados como núcleo, soporte o contexto. Los artículos núcleo aportan evidencia directa y robusta sobre la fotobiomodulación, la preparación deportiva y la fatiga muscular. Los artículos de soporte refuerzan los fundamentos fisiológicos y metabólicos necesarios para la interpretación de los hallazgos, mientras que los artículos de contexto permiten situar los resultados dentro del marco clínico y disciplinar de la medicina deportiva equina.

Esta estrategia de clasificación favorece una integración crítica de la literatura, mejora la coherencia entre el marco teórico y la discusión, y refuerza la transparencia metodológica del proceso de revisión.

- **Matriz EARTE Artículos:**
https://docs.google.com/spreadsheets/d/1Wpw0EQflbDw11LGclF2-pkEAu8eqb00k_rEelR5j658/edit?usp=sharing