

Análisis de la concentración de ácido láctico y frecuencia cardíaca como indicadores de la aptitud física en equinos de enduro de la escuela de caballería del Ejército Nacional de Colombia.

Ballesteros Samantha., Valoyes María Fernanda

RESUMEN

El enduro es un deporte que ha ganado popularidad en los últimos años, posicionándose como una de las modalidades con mayor número de eventos internacionales (FEI, 2023). Esta disciplina ecuestre exige que los caballos recorran largas distancias a velocidades entre 8 y 16 km/h, generando una gran demanda sobre el sistema musculoesquelético y metabólico. El presente estudio tuvo como objetivo analizar la concentración de lactato en sangre (LAC) y la frecuencia cardíaca (FC) en equinos de raza árabe y otros cruces con árabe, con edades comprendidas entre cinco y dieciocho años, pertenecientes al equipo militar de enduro del Ejército Nacional de Colombia. Se evaluó LAC y se registró FC durante tres tipos de ejercicio: "Picadero", "Montaña" y "Competencia". La toma de muestras de sangre y la medición de FC se llevaron a cabo en tres momentos específicos: en reposo, inmediatamente al finalizar la actividad física y durante el periodo de recuperación, 10 minutos post ejercicio. Como resultado se evidenciaron valores basales para LAC de $0,72 \pm 0,04$; $0,5 \pm 0,16$ y $0,9 \pm 0,35$ mmol/L y FC de $35,2 \pm 5,21$; $36,5 \pm 3,59$ y $38 \pm 3,02$ latidos por minuto (lpm) para los 3 tipos de ejercicio, "Picadero", "Montaña" y "Competencia" respectivamente. El umbral anaerobio (4 mmol/L), fue superado por el 20% de los ejemplares durante el ejercicio "Picadero", con una media de 2,66 mmol/L. En contraste, el 71,42% de los ejemplares superó este umbral durante el ejercicio "Montaña", registrando una media de 9.08 mmol/L,

mientras que en "Competencia" predominó el metabolismo aerobio en el 87,5% de los participantes. Como era de esperarse, la FC varió en proporción directa con los niveles de LAC. Ambas variables aumentaron significativamente durante el ejercicio en "Montaña", indicando mayor intensidad y esfuerzo físico en este tipo de ejercicio. Se puede concluir que, en conjunto, LAC y FC son indicadores confiables para evaluar de manera objetiva la intensidad de las sesiones de entrenamiento y la respuesta fisiológica de cada individuo frente a los distintos niveles de exigencia en el enduro ecuestre. Estas variables mostraron un comportamiento normal en la mayoría de los ejemplares estudiados, lo que refleja una adaptación adecuada a las características específicas de cada ejercicio.

Palabras clave: Equinos de enduro, frecuencia cardiaca, lactato, rendimiento físico.

ABSTRACT

Endurance riding is a sport that has gained popularity in recent years, positioning itself as one of the disciplines with the highest number of international events (FEI, 2023). This equestrian discipline requires horses to cover long distances at speeds between 8 and 16 km/h, placing significant demands on the musculoskeletal and metabolic systems. The present study aimed to analyze blood lactate concentration (LAC) and heart rate (HR) in Arabian and Arabian cross horses, aged between five and eighteen years, belonging to the endurance team of the National Army of Colombia. LAC was evaluated, and HR was recorded during three types of exercise: "Arena", "Mountain", and "Competition". Blood samples and HR measurements were taken at three specific times: at rest, immediately after physical activity, and during the recovery period, 10 minutes post-exercise. Basal values for LAC were $0.72 \pm$

0.04, 0.5 ± 0.16 , and 0.9 ± 0.35 mmol/L, and for HR, 35.2 ± 5.21 , 36.5 ± 3.59 , and 38 ± 3.02 beats per minute (bpm) for “Arena”, “Mountain”, and “Competition”, respectively. The anaerobic threshold (4 mmol/L) was exceeded by 20% of the horses during “Arena” work, with a mean of 2.66 mmol/L. In contrast, 71.42% of the horses exceeded this threshold during “Mountain” training, recording a mean of 9.08 mmol/L, while aerobic metabolism predominated in 87,7% of the participants during “Competition”. As expected, HR varied in direct proportion to LAC levels. Both variables increased significantly during “Mountain” training, indicating higher intensity and physical effort in this type of exercise. It can be concluded that, collectively, LAC and HR are reliable indicators for objectively evaluating the intensity of training sessions and the physiological response of each individual to different levels of demand in endurance riding. These variables showed normal behavior in the majority of the studied horses, reflecting adequate adaptation to the specific characteristics of each type of exercise.

Keywords: Endurance horses, heart rate, lactate, physical performance.

INTRODUCCIÓN

El enduro es un deporte ecuestre emergente a nivel mundial, en el que los caballos son sometidos a esfuerzo físico a lo largo de distancias considerables. Este tipo de ejercicio prolongado demanda un organismo debidamente preparado (Noieto *et al.*, 2016), convirtiéndose en la disciplina más exigente en cuanto a resistencia o fondo (Valderrama y Arias, 2020). Las pistas de enduro están diseñadas para poner a prueba la resistencia y condición física tanto del caballo como del jinete, en

recorridos contrarreloj que abarcan distancias de 20 km a 160 km en un día, enfrentando condiciones climáticas y del terreno, sin que se vea comprometido el bienestar del animal (FEI, 2024). Anteriormente, se solían recorrer distancias más largas a velocidades relativamente bajas; sin embargo, en tiempos recientes, especialmente en competencias de nivel internacional, se ha observado una tendencia hacia velocidades más altas (Harris, 2013).

El ejercicio es un estado de estrés que se considera fisiológico en caballos del deporte e induce en el organismo un nuevo equilibrio, el cual requiere de respuestas adaptativas (Ferlazzo *et al.*, 2020). Los caballos que se desempeñan en esta modalidad ecuestre experimentan estrés severo durante el transcurso de una carrera competitiva, por lo que es necesario verificar regularmente la capacidad del animal para realizar la actividad requerida sin que signifique un riesgo físico o metabólico. Por otra parte, durante el programa de entrenamiento se evalúan factores cuantitativos como la frecuencia cardíaca, el consumo de oxígeno y la acumulación de lactato como indicadores importantes para determinar la condición física y estado de salud del equino (Nedkova y Dinev, 2020).

El entrenamiento es esencial para que los caballos compitan de forma efectiva y segura. Preparar adecuadamente un caballo para la competencia implica que realice regularmente el tipo de actividad que realizará en dicho evento, a una intensidad que induzca los cambios fisiológicos necesarios para permitir un rendimiento óptimo (Hinchcliff *et al.*, 2014). El objetivo del entrenamiento es facilitar que el atleta equino alcance un alto nivel de rendimiento sin que experimente fatiga

excesiva y reduciendo el riesgo de lesiones asociadas al ejercicio (Houterman, 2015). El rendimiento atlético es principalmente el resultado de una correcta integración de los principales sistemas corporales involucrados en el soporte de los requisitos bioquímicos y funcionales de la actividad física y las adaptaciones homeostáticas (Ferlazzo *et al.*, 2020).

Para que se produzca la contracción muscular y, en consecuencia, la movilidad del organismo, se utilizan diversas vías de suministro de energía, que tienen como producto final adenosin trifosfato (ATP) (Hodgson, 2013). La glucólisis (*Figura 1*) es un mecanismo rápido de obtención de ATP (Sacristán, 2016), en el que una molécula de glucosa es degradada mediante enzimas y se generan dos moléculas de piruvato. En condiciones aerobias, el piruvato se oxida y se genera acetil-coenzima A, mientras que en condiciones anaerobias este se reduce a lactato. El lactato formado por el músculo esquelético en actividad puede ser reciclado; es transportado por la sangre hasta el hígado, donde se convierte en glucosa durante la recuperación de la actividad muscular exhaustiva a través de la gluconeogénesis (Nelson & Cox, 2012). La medición de las concentraciones de lactato en sangre puede proporcionar información relacionada tanto con la capacidad aerobia como anaerobia del caballo (Hinchcliff, 2008). En general, los caballos con menor condición física muestran un aumento en la concentración de lactato en sangre a intensidades de ejercicio o velocidades más bajas en comparación con los caballos más entrenados (Hodgson, 2013).

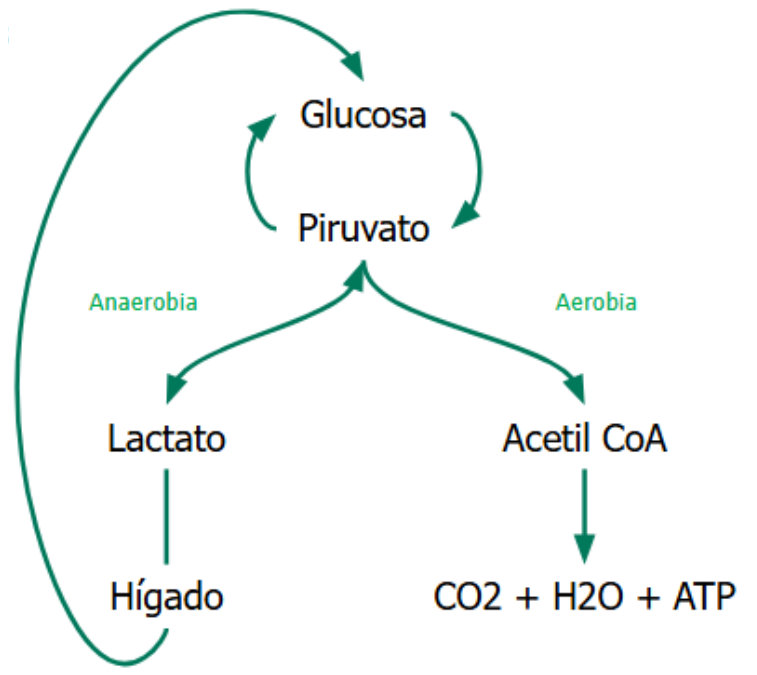


Figura 1. Rutas metabólicas de la glucosa para la producción de energía y otros intermediarios.

El porcentaje de individuos eliminados durante las carreras de enduro parece haber aumentado en los últimos años, lo cual es motivo de preocupación para la ética y la imagen del deporte (Younes *et al.*, 2015). Este porcentaje varía del 10% al 60%, dependiendo del recorrido y la velocidad. Las principales causas de eliminación son las claudicaciones, seguidas de alteraciones metabólicas y otras causas, como no llegar al control veterinario en el tiempo determinado (Mohd *et al.*, 2018). Algunos de los diagnósticos veterinarios observados con mayor frecuencia son lesión de tendones o ligamentos, dolor a nivel de casco, dolor articular o en la región toracolumbar (Nagy *et al.*, 2017). Por otro lado, dentro de las razones metabólicas se pueden mencionar deshidratación severa, fatiga, rabdomiolisis, disminución de la motilidad intestinal y cólico (Muñoz-Alonso *et al.*, 2016).

El equipo militar de enduro de la Escuela de Unidades Montadas y Equitación del Ejército Nacional de Colombia cuenta con ejemplares, en su mayoría de raza Angloárabe, que participan en las diversas categorías establecidas para este deporte en los eventos competitivos programados a lo largo del año. El equipo se ha destacado por su buen desempeño en competencia; sin embargo, es crucial analizar la respuesta a los distintos tipos de entrenamiento para asegurar que la intensidad de trabajo sea la adecuada para cada caballo y sus particularidades, evitando así alteraciones a nivel locomotor o metabólico. En caso de que estas se presenten, es necesario instaurar tratamiento médico y suspender el entrenamiento hasta que el ejemplar recupere un estado de salud óptimo.

El objetivo del estudio fue analizar la concentración de ácido láctico y frecuencia cardíaca de los equinos del equipo militar de enduro del Ejército Nacional durante tres tipos de ejercicio, realizados en escenarios con superficies varían en cuanto a irregularidad, inclinación y tipo de terreno. Además, se buscó determinar si los protocolos de entrenamiento actuales son efectivos para cada individuo, y si les permite alcanzar un mejor rendimiento deportivo sin sobreexigir ningún sistema corporal y reduciendo la presentación de lesiones.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente trabajo de investigación se estudiaron 20 caballos (5 en picadero, 7 en montaña y 8 en competencia), machos y hembras de la raza árabe y otros cruces con árabe, con edades comprendidas entre cinco y dieciocho años. La toma de

muestras se llevó a cabo en la Escuela de Unidades Montadas y Equitación del Ejército, ubicada en la ciudad de Bogotá, a 2.625 metros sobre el nivel del mar. En este entorno se registra una temperatura ambiental promedio de 13,1°C y la humedad relativa oscila entre 77 % y 83 %.

La alimentación de los caballos consistió en una ración diaria de 3 kg de heno y 3 kg de alimento comercial Campeón Derby, Solla, distribuidos en tres comidas al día, con acceso ad libitum de agua.

La medición del lactato sanguíneo se realizó utilizando un Lactatómetro Detect TD-4261. Las muestras se obtuvieron mediante venopunción en la vena yugular después de la desinfección del área. Para la extracción, se empleó una jeringa hipodérmica desechable de 3 ml con aguja de 21 G. La toma se realizó en tres momentos distintos de la actividad física: En reposo, antes de la sesión de entrenamiento (LAC1); al finalizar el ejercicio (LAC2); y durante el período de recuperación, 10 minutos después de terminado el entrenamiento (LAC3). La frecuencia cardíaca se registró en estos mismos momentos (FC1, FC2 y FC3, respectivamente) mediante auscultación con un fonendoscopio posicionado al costado izquierdo del caballo, justo detrás de la articulación del codo.

Los animales fueron sometidos a tres tipos de ejercicio denominados “Picadero”, “Montaña” y “Competencia”. El ejercicio de “Picadero” se realizó en una pista de suelo blando en arena, con dimensiones de 60 x 40 metros. Este ejercicio se dividió en tres fases: Una fase de calentamiento de 10 minutos al paso, seguida de una

etapa de trabajo de 60 minutos en la que se alternaron trote y galope, y finalmente una fase de recuperación de 10 minutos. El ejercicio de “Montaña” inició con 20 minutos al paso, 15 minutos al trote y 10 minutos al galope, posteriormente, los animales se trasladaron a una pista natural en la montaña, caracterizada por inclinaciones y diferentes tipos de terreno donde los animales recorrieron 4 km al galope, 8 km al trote y 2 km al paso.

El ejercicio de “Competencia” se llevó a cabo en pistas naturales del municipio de Guatavita, Cundinamarca. Las rutas fueron asignadas según la categoría en la que participó cada binomio, siguiendo un recorrido previamente establecido y señalado por los organizadores del evento. Cada ruta se dividió en varias etapas, con chequeos veterinarios y descansos obligatorios entre una etapa y otra, de acuerdo con la reglamentación. Los caballos participaron en la categoría de 40 km, la cual constó de dos etapas. La primera etapa tuvo una distancia de 27,1 km. Al finalizar esta etapa, se realizó el chequeo veterinario correspondiente y se tomó el descanso obligatorio de 40 minutos. Posteriormente, los ejemplares recorrieron la etapa final de 16,2 km completando así un total de 43.3 km de recorrido.

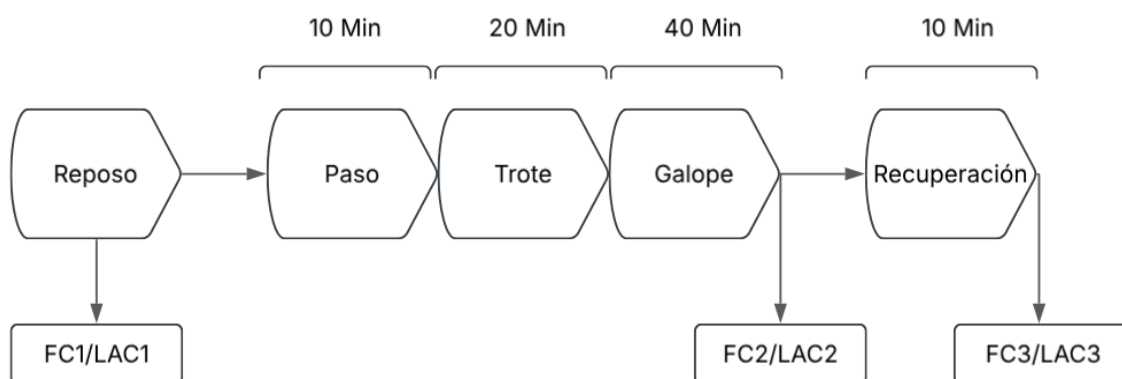


Figura 2. Esquema del ejercicio denominado “Picadero” y los momentos establecidos para el registro de la frecuencia cardiaca y la toma de muestras para la medición de lactato sanguíneo.

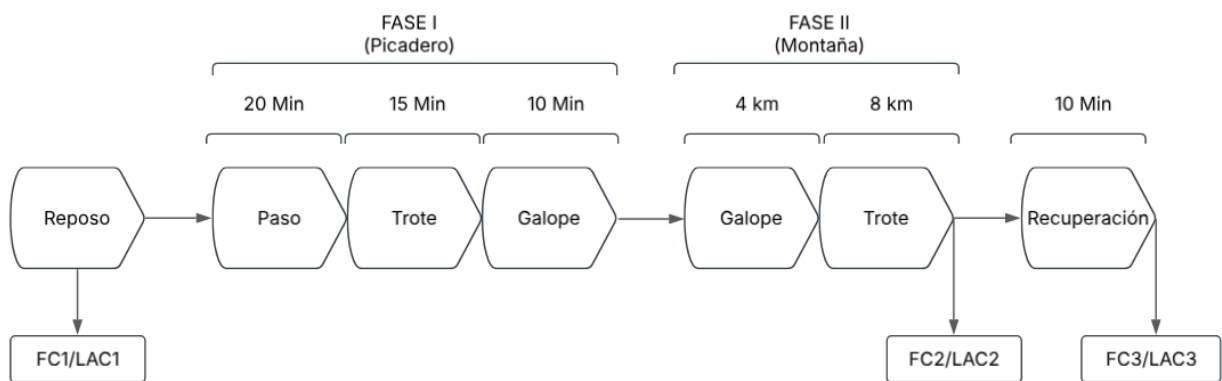


Figura 3. Esquema del entrenamiento denominado “Montaña” y los momentos establecidos para el registro de la frecuencia cardiaca y la toma de muestras para la medición de lactato sanguíneo.

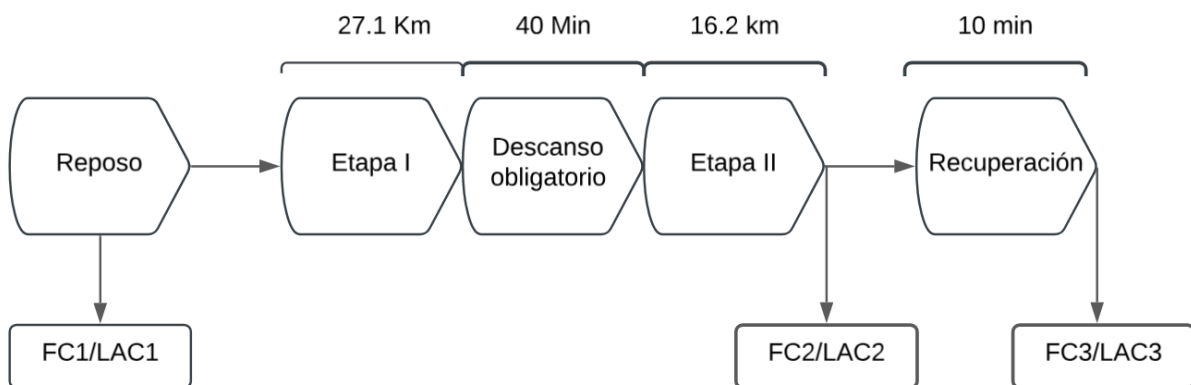


Figura 4. Esquema del entrenamiento denominado “Competencia” y los momentos establecidos para el registro de la frecuencia cardiaca y la toma de muestras para la medición de lactato sanguíneo.

Análisis estadístico

Se llevó a cabo un análisis estadístico descriptivo para las variables media, mínimos, máximos y desviación estándar. Para determinar las diferencias de las variables estudiadas (LAC y FC) en los diferentes momentos y tipos de ejercicio, se realizó un análisis de varianza (ANOVA), y seguido de una comparación de medias mediante la prueba de Tukey, con un valor de $p < 0.05$ para establecer diferencias estadísticamente significativas. Los datos se procesaron utilizando el software PAST (PAleontological STatistics) versión 4.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento físico del caballo actualmente se evalúa mediante la medición de una serie de parámetros fisiológicos específicos, como la frecuencia cardíaca y el lactato en sangre (de Mare *et al.*, 2017). Se ha reportado una relación proporcional entre el lactato y la frecuencia cardíaca que ha sido ampliamente descrita en deportistas humanos y caballos de algunas disciplinas deportivas (Arias, Maya y Arango, 2019; Franco *et al.*, 2022). Ambos parámetros son indicadores de la intensidad del ejercicio y de la condición física del individuo. El umbral anaerobio generalmente ocurre cuando las concentraciones de lactato en sangre superan los 4 mmol/L y se ha relacionado con una frecuencia cardíaca de 200 lpm (Sacristán, 2016). En este punto se pierde la dinámica de equilibrio entre la producción, utilización y eliminación de lactato debido a una producción excesiva, y el nivel de lactato en sangre comienza a aumentar exponencialmente (Ferraz *et al.*, 2008).

Tabla 5. Media y desviación estándar de frecuencia cardíaca y lactato en los tres escenarios estudiados

PICADERO	MONTAÑA	COMPETENCIA
----------	---------	-------------

FC1	35,2 ± 5,21	36,5 ± 3,59	38 ± 3,02
FC2	102 ± 17,5 ^a	121 ± 24,5 ^b	46,6 ± 6,06 ^{ab}
FC3	61 ± 11	67,4 ± 7,09 ^b	48,5 ± 10,5 ^b
LAC1	0,72 ± 0,04	0,5 ± 0,16 ^b	0,9 ± 0,35 ^b
LAC2	2,66 ± 1,67 ^c	9,08 ± 4,84 ^{bc}	2,41 ± 1,28 ^b
LAC3	1,28 ± 0,31	1,62 ± 1,0	2,33 ± 0,86

Tabla 5. Ejercicio “Picadero”, “Montaña” y “Competencia”; FC1: frecuencia cardiaca en reposo; FC2: frecuencia cardiaca al finalizar el ejercicio; FC3: frecuencia cardiaca 10 minutos de finalizar el ejercicio; LAC1: lactato en reposo LAC2: lactato al finalizar el ejercicio LAC3: 10 minutos después de finalizar el ejercicio.

^aDiferencia significativa entre los grupos “Competencia” y “Picadero” ($p < 0.05$)

^b Diferencia significativa entre los grupos “Competencia” y “Montaña” ($p < 0.05$)

^c Diferencia significativa entre los grupos “Montaña” y “Picadero” ($p < 0.05$)

PICADERO						
	FC1	FC2	FC3	LAC1	LAC2	LAC3
N	5	5	5	5	5	5
Min	28	76	52	0.7	0.9	0.9
Max	40	120	80	0.8	4.6	1.7
Mean	35.2	102	61	0.72	2.66	1.28
Stand. dev	5.21	17.5	11	0.04	1.67	0.31

Tabla 1. Análisis descriptivo de los datos registrados para el ejercicio “Picadero” FC (lpm) LAC (mmol/L)

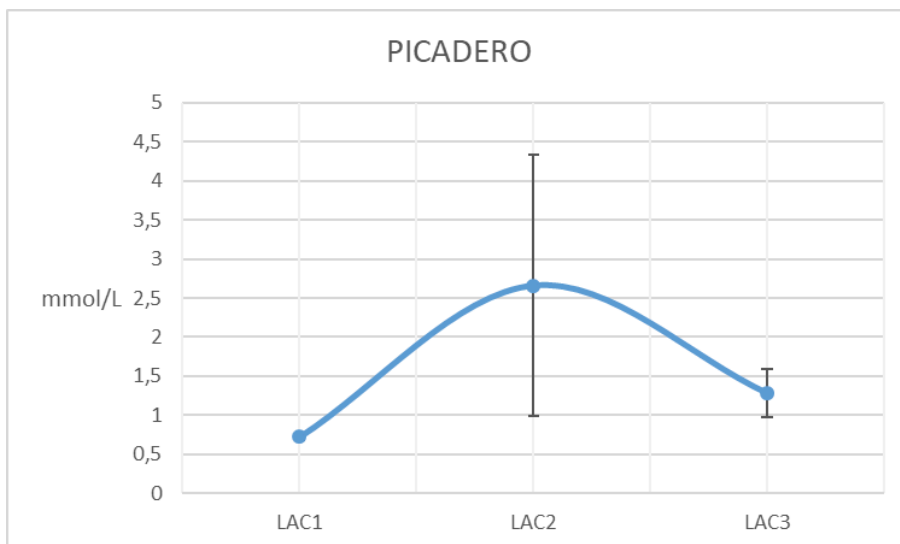
MONTAÑA						
	FC1	FC2	FC3	LAC1	LAC2	LAC3
N	7	7	7	7	7	7
Min	32	96	60	0.3	3.4	0.7
Max	40	152	80	0.8	14.4	3.2

Mean	36.5	12.1	67.4	0.5	9.08	1.62
Stand. dev	3.59	24.5	7.09	0.16	4.84	1.0

Tabla 2. Análisis descriptivo de los datos registrados para el ejercicio “Montaña” FC (lpm) LAC (mmol/L)

COMPETENCIA						
	FC1	FC2	FC3	LAC1	LAC2	LAC3
N	8	8	8	8	8	8
Min	36	40	36	0.5	1.2	1.3
Max	44	56	68	1.5	4.9	3.8
Mean	38	46.6	48.5	0.9	2.41	2.33
Stand. dev	3.02	6.06	10.5	0.35	1.28	0.86

Tabla 3. Análisis descriptivo de los datos registrados en el ejercicio “Competencia” FC (lpm) LAC (mmol/L)



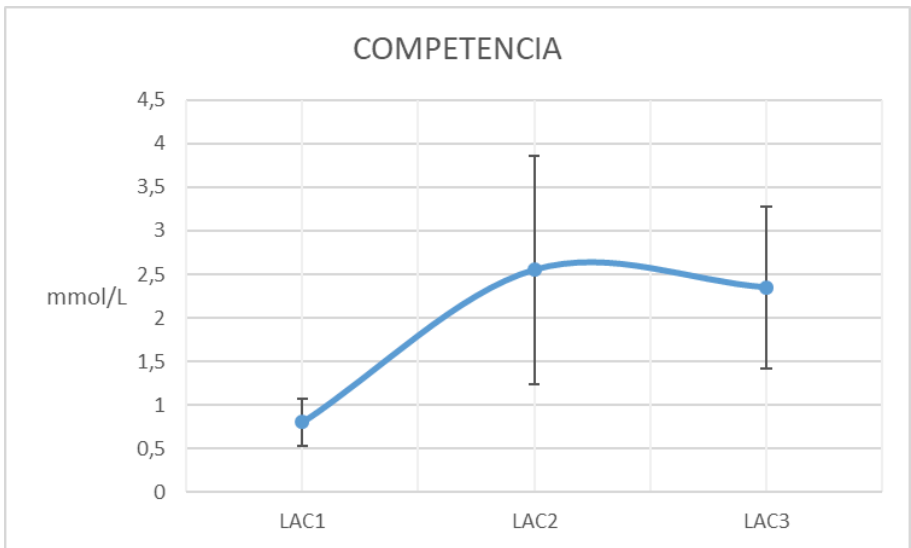
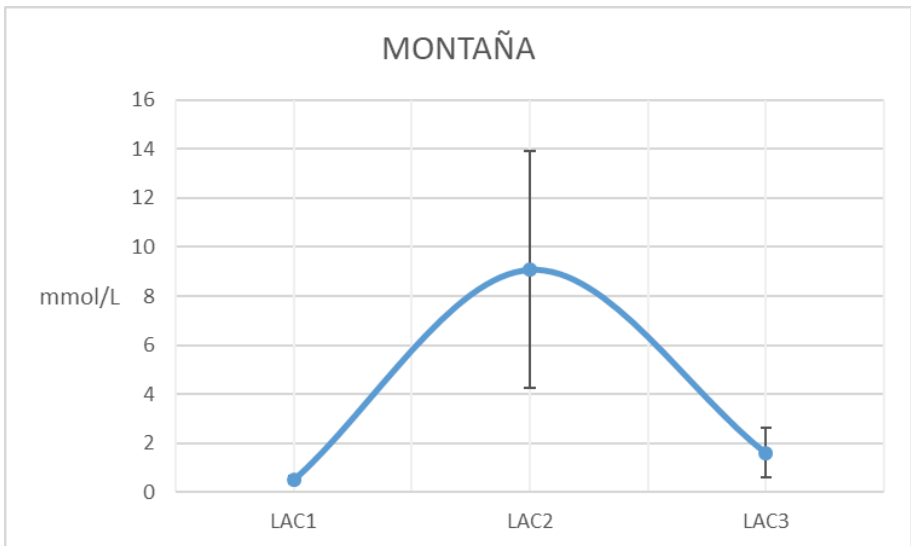


Figura 5. Resultados promedios de la concentración de lactato en sangre en los ejercicios “Picadero”, “Montaña” y “Competencia”

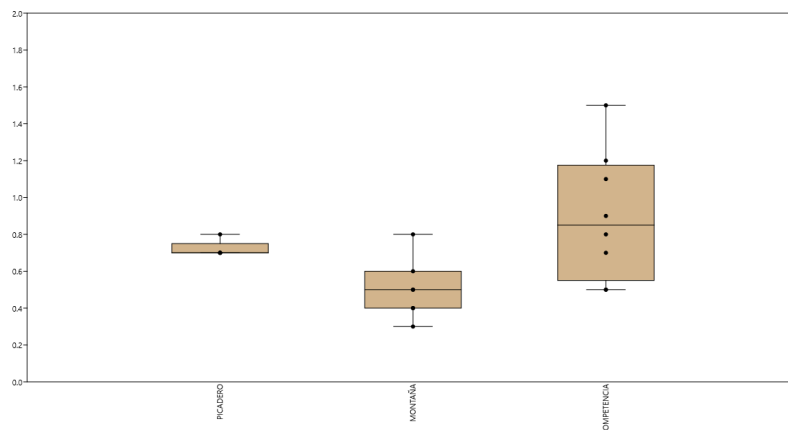


Figura 6. Lactato en reposo (LAC1) para los ejercicios “Picadero”, “Montaña” y “Competencia”

Referente a los niveles basales de lactato (LAC1), se registró una media de $0,72 \pm 0,04$, $0,5 \pm 0,16$ y $0,9 \pm 0,35$ mmol/L para “Picadero”, “Montaña” y “Competencia”, respectivamente. Se evidenció una diferencia significativa en el valor de LAC1 de “Competencia” en comparación con el ejercicio “Montaña”. Esto puede atribuirse al hecho de que los equinos deben ser transportados al lugar de la competencia durante periodos prolongados. Según lo reportado, los equinos expuestos a periodos de transporte pueden experimentar estrés, lo que conlleva a un desequilibrio metabólico debido al aumento de su metabolismo basal. Esto se traduce en un mayor gasto cardíaco, un incremento en el consumo de oxígeno, temperaturas corporales más elevadas, así como una reducción del pH y acumulación de ácido láctico (Yañez *et al.*, 2012). Además, (Stull & Rodiek, 2000) detectaron un aumento de las concentraciones de lactato en equinos entre 3 y 6 horas después del viaje, lo que sugiere la presencia de fatiga muscular mínima como consecuencia del transporte.

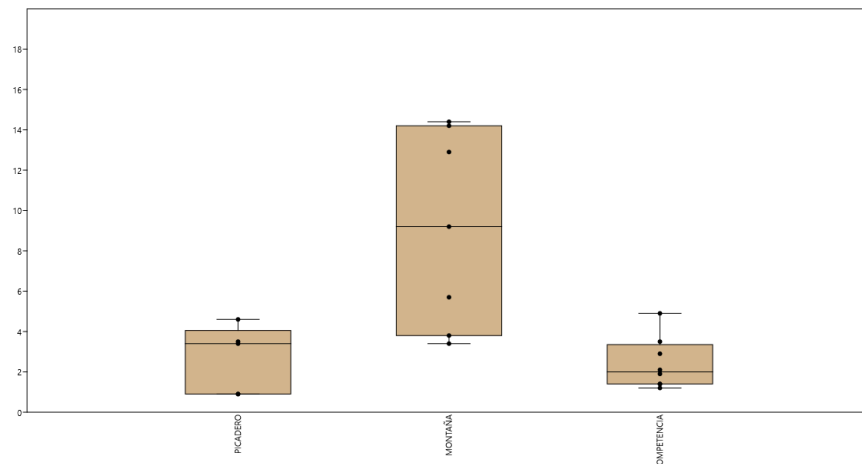


Figura 7. Lactato al finalizar la actividad física (LAC2) para los ejercicios “Picadero”, “Montaña” y “Competencia”

Por otro lado, al analizar los valores de lactato obtenidos inmediatamente después del ejercicio (LAC2), se observó que en “Picadero”, el 20% de los individuos superaron el umbral anaerobio, con una media de $2,66 \pm 1,67$ mmol/L. En “Montaña” este porcentaje aumentó al 71.42% con una media de $9,08 \pm 84$ mmol/L, mientras que en “Competencia” solo el 12.5% de los individuos superó los 4 mmol/L. Este último dato respalda el hecho de que el enduro es una actividad física en la que, aunque se recorren largas distancias, la intensidad es baja a moderada. El esfuerzo realizado es de naturaleza aerobia, ya que el 95% de los costos totales de energía provienen de la fosforilación oxidativa de adenosin trifosfato (ATP). Por lo tanto, los caballos bien entrenados en esta modalidad deportiva deberían caracterizarse por una alta capacidad aerobia (Masko *et al.*, 2021).

En “Competencia” LAC2 mostró una media de $2,41 \pm 1,28$ mmol/L, valor que supera ligeramente los rangos reportados para carreras en las que se midió la concentración de lactato sanguíneo en distancias similares a las de este estudio, al

finalizar etapas de 30, 50 y 55 km (Bernardi, 2018; Adamu *et al.*, 2012). Esta diferencia puede presentarse debido a que dichos reportes se evaluaron animales participantes en carreras de 80 y 120 km, lo que sugiere que podrían estar mejor adaptados al ejercicio.

Los datos obtenidos para el valor (LAC2) muestran una diferencia significativa entre el ejercicio “Picadero” y “Competencia” respecto al realizado en “Montaña”, ya que este último representa un mayor esfuerzo por ende el nivel de lactato en sangre alcanza el umbral anaerobio. Después de finalizar la actividad física la tasa de consumo de oxígeno permanece elevada y hay una mayor acumulación de lactato (Alvarado, 2022).

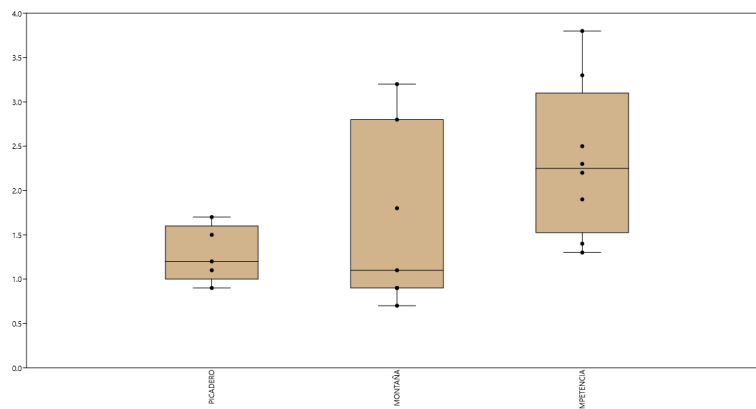


Figura 8. Lactato en periodo de recuperación (LAC3) para los ejercicios de “Picadero”, “Montaña” y “Competencia”

La concentración de lactato generalmente comienza a disminuir tan pronto como se termina la actividad física. En este estudio, la media de LAC3 fue de 1.28 ± 0.31 en “Picadero”, 1.62 ± 1.0 en “Montaña” y 2.33 ± 0.86 en “Competencia”, no encontrándose significancia estadística entre estos valores. La tasa de eliminación de lactato en sangre depende del nivel de actividad realizada durante el periodo de

recuperación. Es decir, el lactato se eliminará con mayor rapidez si el caballo permanece en movimiento, y se establece que la eliminación es 60% más rápida si el caballo se encuentra al paso en comparación con si permanece en estación (Marlin & Nankervis, 2013).

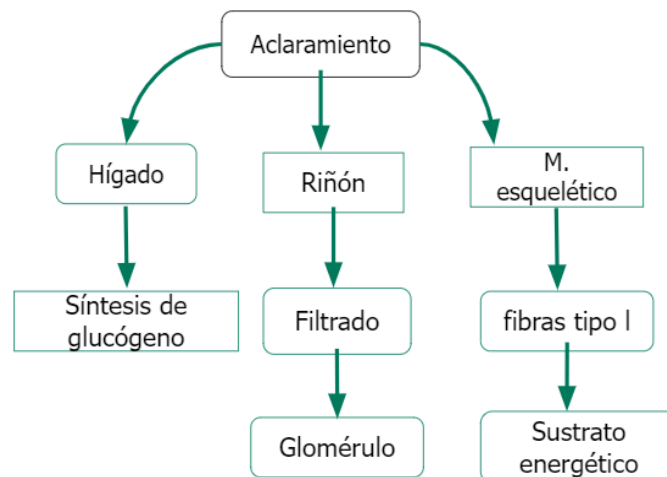


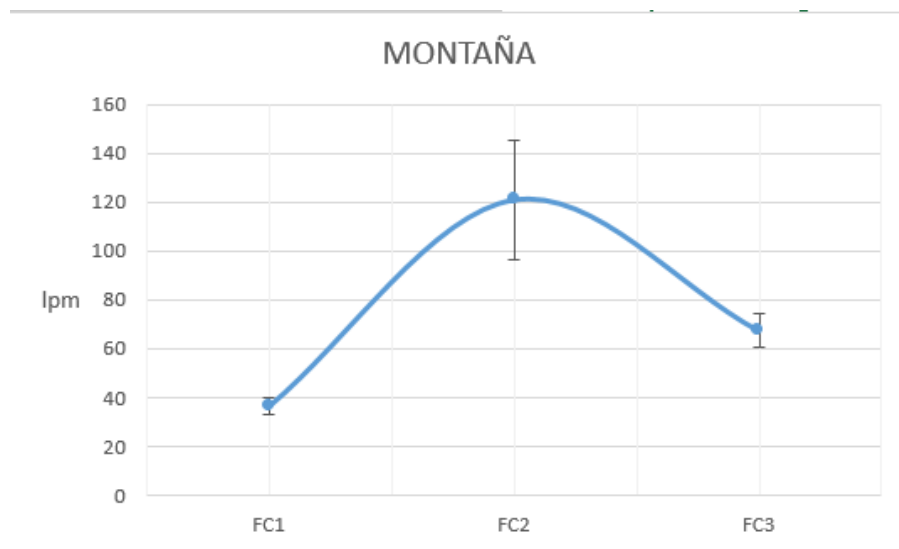
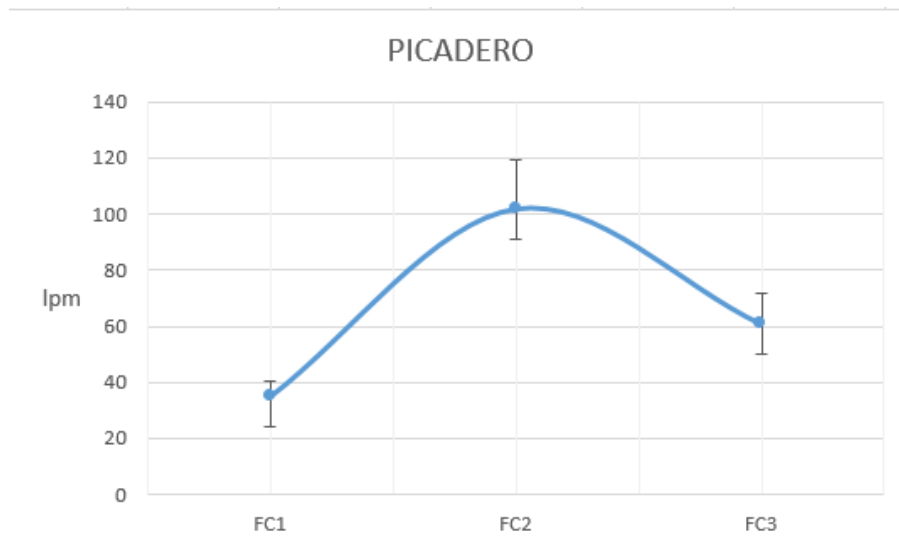
Figura 9. Proceso de aclaramiento del lactato sanguíneo.

El lactato es metabolizado principalmente por el hígado, los riñones, el tejido muscular y el corazón. En el hígado, durante el ejercicio el lactato se convierte nuevamente en glucosa y es transportado a los músculos activos. Durante la fase de recuperación, parte de este lactato contribuye a la síntesis de glucógeno. (Poso, 2002)

A nivel renal, es filtrado por el glomérulo, pero se reabsorbe casi en su totalidad en el túbulo proximal. Cuando los niveles de lactato en sangre aumentan, su excreción urinaria también se incrementa; sin embargo, esta vía sólo representa entre el 10 % y el 12 % de su eliminación. (Zuluaga, 2017).

En el músculo, luego de un ejercicio máximo, las fibras musculares tipo I

aprovechan el lactato como sustrato energético. (Poso, 2002)



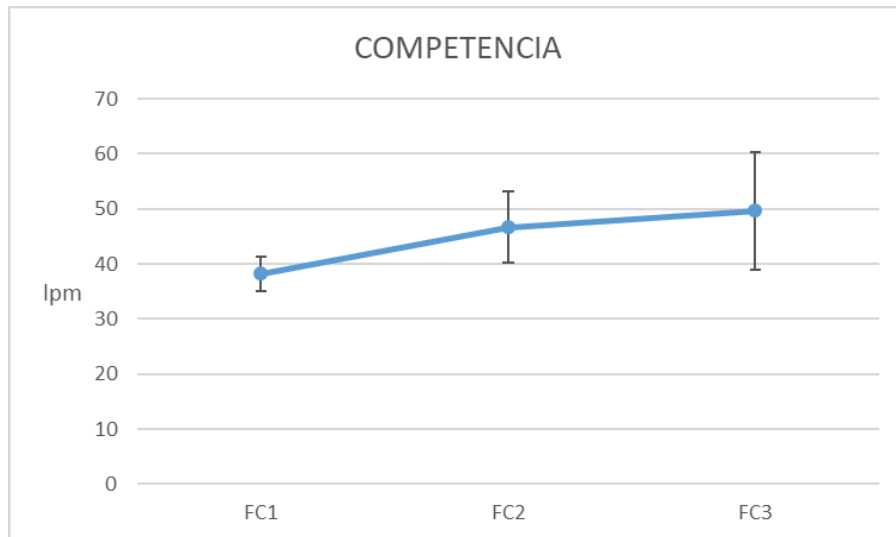


Figura 10. Resultados promedios de la frecuencia cardíaca en los diferentes ejercicios

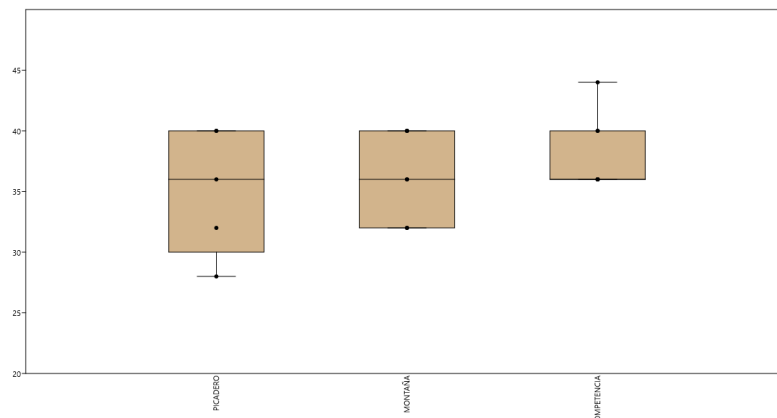


Figura 11. Frecuencia cardíaca en reposo (FC1) para "Picadero", "Montaña" y "Competencia"

En cuanto a la frecuencia cardíaca basal, se registró una media de $35,2 \pm 5,21$, $36,5 \pm 3,59$ y $38,2 \pm 3,02$ lpm para "Picadero", "Montaña" y "Competencia", respectivamente. Valores similares a los rangos reportados en reposo para caballos

de enduro por varios autores (Lindner *et al.*, 2020; Esser *et al.*, 2020; Adamu *et al.*, 2012).

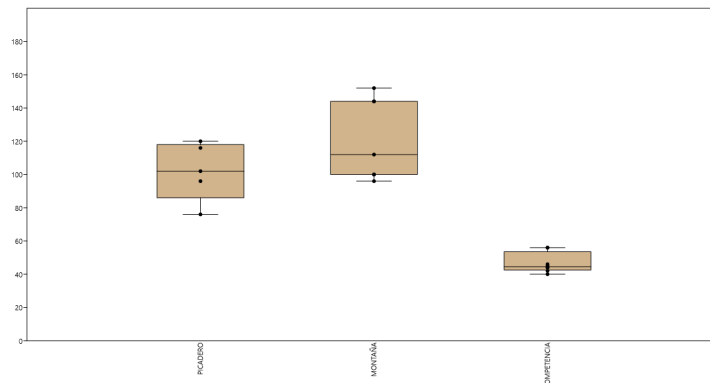


Figura 12. Frecuencia cardíaca al finalizar el ejercicio (FC2) para “Picadero”, “Montaña” y “Competencia”.

Para las frecuencias cardíacas registradas al finalizar la actividad física (FC2), se observaron medias de $102 \pm 17,5$ lpm en “Picadero”, $121 \pm 24,5$ lpm en “Montaña” y $46,6 \pm 6,06$ lpm en “Competencia”. Las frecuencias cardíacas en “Competencia” resultaron significativamente más bajas en comparación con las registradas en los otros dos escenarios (“Picadero” y “Montaña”). Esta diferencia puede atribuirse a la influencia de las estrategias y decisiones adoptadas por el jinete durante la carrera tales como la regulación de la velocidad, el ritmo o cadencia, y la posición en la silla, con el objetivo de maximizar el rendimiento y mantener el estado de salud del caballo (Williams *et al.*, 2021). Incluso, está permitido que durante el concurso el jinete cabestree o siga a su caballo en la pista, siempre y cuando pase la línea de salida y de llegada montado (FEI, 2024).

Adicionalmente, al terminar cada etapa, los caballos llegan al punto de

recuperación, donde se dispone de piscinas con agua para bebida y para el enfriamiento del caballo. El enfriamiento se realiza vertiendo abundante agua sobre el caballo usando baldes, esponjas o sprays. El agua debe aplicarse en las zonas de la superficie corporal con una mayor cantidad de glándulas sudoríparas y vasos sanguíneos superficiales grandes. Estos vasos se dilatan con la actividad física, ampliando el área expuesta al ambiente para facilitar la eliminación de calor (Muñoz *et al.*, 2017). Se ha reportado que este método, ampliamente usado para la disipación rápida de calor en caballos después del ejercicio intenso, aumenta la actividad del sistema parasimpático, reduciendo efectivamente la frecuencia cardíaca antes del chequeo veterinario (Wonghanchao *et al.*, 2024).

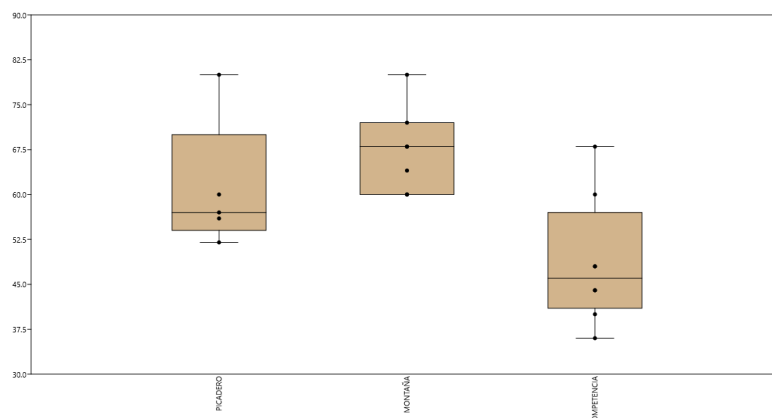


Figura 13. Frecuencia cardíaca en recuperación (FC3) para “Picadero”, “Montaña” y “Competencia”.

Para la frecuencia cardíaca tomada en el período de recuperación (FC3), se observó una diferencia significativa entre los resultados de “Competencia” y “Montaña”. Esta variación puede atribuirse a la intensidad del ejercicio y el tiempo requerido para retornar a la FC basal y otros factores como las condiciones

climáticas y el nivel de excitación que pueden influir en la recuperación de la FC. Además, los efectos del ejercicio prolongado se consideran acumulativos, de modo que la FC puede tardar más en recuperarse después de una carrera de 80 km en comparación con un entrenamiento de 25 km (Hodgson, 2013).

La frecuencia cardiaca y la concentración de ácido láctico en sangre mostraron un mayor aumento en el ejercicio "Montaña", esto debido a que al trabajar el caballo en una pendiente se utilizan los efectos de la gravedad para cargar selectivamente los miembros posteriores durante el ascenso y los miembros anteriores en declive (Clayton, 2016). Se ha reportado que el entrenamiento en pendientes ascendentes aumenta la actividad de los músculos utilizados para la fuerza propulsora, en comparación con el entrenamiento en terreno plano (Takahashi *et al.*, 2014). Tanto el aumento de la velocidad como la inclinación conducen a un incremento en la actividad electromiográfica integrada en los músculos, y, por lo tanto, a una mayor carga de trabajo (Robert, Valette & Denoix, 2000). Aunque, es posible que cuesta arriba se logre el mismo efecto que se obtendría durante un entrenamiento en una pista plana usando mayor velocidad (Castejon-Riber *et al.*, 2017). Y se propone que la inclinación puede ser utilizada para incrementar la intensidad con la ventaja de que se reduce el riesgo de lesiones musculoesqueléticas presente al trabajar con velocidades más altas (Eto *et al.*, 2006).

Habitualmente los entrenamientos de los caballos estudiados se realizan de manera grupal, lo que implica que la intensidad de la actividad física sea la misma para todos los ejemplares. Teniendo en cuenta lo anterior y que la mayoría de los

entrenadores de caballos de deporte se basan en regímenes de entrenamiento empíricos para determinar la manera más eficaz de acondicionar a un caballo para un evento específico, y adicionalmente la evaluación de la condición física a menudo depende de la valoración subjetiva del entrenador y/o del jinete (Fraipont *et al.*, 2012). Resulta conveniente que para los entrenamientos se tenga en cuenta el principio de individualidad en el que se consideran varios factores como edad, raza, la forma en que fue criado, antecedentes de lesión o enfermedad, e incluso otras condiciones como el jinete, el entorno en el que se trabaja y los objetivos que se buscan alcanzar con cada ejemplar (Castejon-Riber *et al.*, 2017).

Esto con el fin de que cada caballo se trabaje de acuerdo a su condición física, su nivel de entrenamiento y demás características individuales que puedan influir en su rendimiento, garantizando así que no se presente sobreentrenamiento.

CONCLUSIONES

- En la mayoría de los individuos, se observó un comportamiento esperado de los parámetros evaluados (frecuencia cardíaca y la concentración de lactato en sangre), puesto que aumentaban o disminuían en proporción a la exigencia del ejercicio realizado. La recuperación cardíaca, que es uno de los factores más importantes en las competencias de enduro, fue óptima ya que disminuyó a 60 o 64 latidos por minuto dentro de los tiempos establecidos.
- El monitoreo de la frecuencia cardíaca antes, durante y después del entrenamiento proporciona información clave sobre la adaptación del sistema cardiovascular ante distintas intensidades de ejercicio y tipos de terreno. Esta

práctica se convierte en una herramienta esencial para diseñar planes de entrenamiento más eficientes, optimizar el rendimiento físico y prevenir posibles riesgos asociados al esfuerzo.

- Los hallazgos aquí presentados pueden servir de base para futuras investigaciones sobre el rendimiento deportivo, parámetros fisiológicos y carga de trabajo en caballos de enduro. Así como estímulo para la implementación de herramientas que son relevantes al momento de mejorar el desempeño en las diferentes disciplinas ecuestres que se practican en la Escuela de Unidades Montadas y Equitación del Ejército, como lo es tener un diagnóstico deportivo y demás servicios que ofrece la medicina deportiva equina.

Recomendaciones:

- Lo ideal sería desarrollar un programa de entrenamiento individualizado que se adapte a la condición física de cada caballo para optimizar su rendimiento y disminuir la presentación de lesiones.
- Realizar recuperación activa posterior al entrenamiento para facilitar la eliminación de lactato de manera eficiente.

En caballos estabulados es frecuente que se usen prácticas terapéuticas post ejercicio como vendajes, masajes y aplicación de agua fría con manguera para intentar reducir la inflamación y mejorar la recuperación de las extremidades distales, y se plantea la hipótesis de que la falta de actividad física post entrenamiento podría retrasar la recuperación en equinos (Connysson *et al.*, 2021). Mantener la actividad muscular después del ejercicio intenso, también conocido como una recuperación activa, puede

tener efectos positivos en términos de tiempo de recuperación y rendimiento ya que las consecuencias metabólicas de la actividad física intensa son similares en caballos y humanos. En humanos la recuperación activa ha demostrado ser eficaz para mejorar el tiempo de recuperación y su posterior rendimiento, también se ha demostrado que las actividades aerobias leves y los estiramientos aceleran la eliminación del lactato y aumenta su posible uso como fuente de energía para el corazón y los músculos en actividad (Lesimple *et al.*, 2020).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adamu, L., Noraniza, M. A., Rasedee, A., & Bashir, A. (2013). Effect of age and performance on physical, hematological, and biochemical parameters in endurance horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, 33(6), 415–420. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2012.07.015>
- Alvarado Marín., J. L. (2022). Determinación de valores referenciales de lactato en equinos (*Equus caballus*) de competencia en condiciones de altitud. (trabajo de grado, universidad politécnica salesiana). Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23326/1/UPS-CT010051.pdf>
- Arias, M. P., Maya, J. S., & Arango, L. (2019). Efectos de dos protocolos de entrenamiento sobre el lactato sanguíneo en caballos de paso fino.

Revista de La Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, 66(3), 219–230. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v66n3.84259>

Bernardi, N. S., Gomide, L. M. W., Antunes, A. D., Gravena, K., Dias, D. P. M., Queiroz, D. J., Canello, V. A., Silva, A. M. G. B., Brandi, R. A., & Lacerda-Neto, J. C. (2018). Equilíbrio ácido-base e hidroeletrolítico em equinos submetidos à simulação de enduro FEI. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 70(2), 359–367. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9396>

Castejon-Riber, C., Riber, C., Rubio, M. D., Agüera, E., & Muñoz, A. (2017). Objectives, principles, and methods of strength training for horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, 56, 93–103. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2017.04.011>

Connysson, M., Rhodin, M., Bergh, A., & Jansson, A. (2021). Effects of horse housing on musculoskeletal system post-exercise recovery. *Comparative Exercise Physiology*, 17(5), 421–428. <https://doi.org/10.3920/cep200088>

de Mare, L., Boshuizen, B., Plancke, L., de Meeûs, C., de Bruijn, M., & Delesalle, C. (2017). Standardized exercise tests in horses: Current situation and future perspectives. *Vlaams Diergeneeskundig Tijdschrift*, 86(2). <https://doi.org/10.21825/vdt.v86i2.16290>

Esser, M., Lindner, A., López, R., Muriel, M., & Boffi, F. (2020). Factors influencing resting heart rate in endurance racehorses.

Pferdeheilkunde, 36(6), 531-536-531–536.
<https://doi.org/10.21836/pem20200605>

Eto, D., Yamano, S., Hiraga, A., & Miyata, H. (2006). Recruitment pattern of muscle fibre type during flat and sloped treadmill running in thoroughbred horses. *Equine Veterinary Journal. Supplement*, 36, 349–353. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2006.tb05567.x>

Fédération Equestre Internationale. (2024). Endurance Rules. Recuperado de https://inside.fei.org/sites/default/files/FEI%20Endurance%20Rules%20-%201%20January%202024%20-%20Clean_0.pdf

Fédération Equestre Internationale. (2023). FEI annual report. Recuperado de <https://inside.fei.org/fei/about-fei/publications/fei-annual-report/2023/>

Ferraz, G. C., D'Angelis, F. H. F., Teixeira-Neto, A. R., Freitas, E. V. V., Lacerda-Neto, J. C., & Queiroz-Neto, A. (2008). Blood lactate threshold reflects glucose responses in horses submitted to incremental exercise test. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia*, 60(1), 256–259. <https://doi.org/10.1590/s0102-09352008000100035>

Ferlazzo, A., Cravana, C., Fazio, E., & Medica, P. (2020). The different hormonal system during exercise stress coping in horses. *Veterinary World*, 13(5), 847–859. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2020.847-859>

Fraipont, A., Van Erck, E., Ramery, E., Fortier, G., Lekeux, P., & Art, T. (2012). Assessing fitness in endurance horses. *The Canadian Veterinary Journal. La Revue Vétérinaire Canadienne*, 53(3), 311–314.

<https://www.semanticscholar.org/paper/Assessing-fitness-in-endurance-horses.-Fraipont-Erck/c846cb21a459ccf8dd7550d2b81edc8ffda332ee>

Franco, D., Aguirre-Naranjo, L., Herrera, C., Rincón, Y., Barbosa, A., Ramírez-Forero, G., & Infante, J. (2022). Evaluación del rendimiento deportivo en equinos de la raza Silla Argentino mediante la concentración de lactato plasmático en una banda caminadora. *Revista científica (Universidad del Zulia. Facultad de Ciencias Veterinarias. División de Investigación)*, XXXII(single), 1–6. <https://doi.org/10.52973/rcfcv-e32129>

Harris, P. A., & Schott, H. C., II. (2013). Nutritional management of elite endurance horses. In *Equine Applied and Clinical Nutrition* (pp. 272–288). Elsevier.

Hinchcliff, K., Kaneps, A., Geor, R. (2014). *Equine sports medicine and surgery*. United States : Saunders Elsevier.

Hinchcliff, K. W., Kaneps, A. J., & Geor, R. J. (Eds.). (2008). *Equine exercise physiology: the science of exercise in the athletic horse*. Elsevier Health Sciences.

Houterman, W. (2015). *Monitoring blood lactate and heart rate during two different standardized exercise tests in young Friesian horses*. <https://studenttheses.uu.nl/bitstream/handle/20.500.12932/19728/Final%20version%20onderzoeksverslag%20Willem%20Houterman.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Hodgson, D. R., McGowan, C. M., & McKeever, K. H. (2013). *The Athletic Horse: Principles and Practice of Equine Sports Medicine*. Elsevier Health Sciences.

Lacerda, Y. G., Nascimento, A. F. do, Alves, F., Monteiro, C. G., Leira, M. H., & Reghim, L. S. (2018). Physical preparation and antioxidant supplementation for endurance racehorses. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal/Brazilian Journal of Animal Health and Production*, 19(1), 23–31.
<https://doi.org/10.1590/s1519-99402018000100003>

Lesimple, C., Reverchon-Billot, L., Galloux, P., Stomp, M., Boichot, L., Coste, C., Henry, S., & Hausberger, M. (2020). Free movement: A key for welfare improvement in sport horses? *Applied Animal Behaviour Science*, 225(104972), 104972.
<https://doi.org/10.1016/j.applanim.2020.104972>

Lindner, A., Esser, M., López, R., & Boffi, F. (2020). Relationship between resting and recovery heart rate in horses. *Animals: An Open Access Journal from MDPI*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/ani10010120>

Marlin, D., & Nankervis, K. J. (2013). *Equine exercise physiology*. Wiley-Blackwell. Recuperado de:
<https://www.wiley.com/en-us/Equine+Exercise+Physiology-p-9781118693292>

- Maško, M., Domino, M., Jasiński, T., & Witkowska-Piłaszewicz, O. (2021). The physical activity-dependent hematological and biochemical changes in school horses in comparison to blood profiles in endurance and race horses. *Animals: An Open Access Journal from MDPI*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/ani11041128>
- Mohd Rajdi, N. Z. I., Mohd Adzahan, N., Adamu, L., & Rasedee, A. (2018). Rates and causes of elimination in Malaysian endurance horses. *Cogent Food & Agriculture*, 4(1), 1447826. <https://doi.org/10.1080/23311932.2018.1447826>
- Muñoz, A., Castejón-Riber, C., Riber, C., Esgueva, M., Trigo, P., & Castejón, F. (2017). Current knowledge of pathologic mechanisms and derived practical applications to prevent metabolic disturbances and exhaustion in the endurance horse. *Journal of Equine Veterinary Science*, 51, 24–33. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2016.12.002>
- Muñoz-Alonzo, L., Barrios Silva, A., Cruces Leal, J., & Briones Luengo, M. (2016). Motivos de Eliminación en Competencias de Enduro Internacional, Categoría Jinete Adulto, en Chile (2007-2014). *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 27(2), 259. <https://doi.org/10.15381/rivep.v27i2.11654>
- Nagy, A., Dyson, S. J., & Murray, J. K. (2017). Veterinary problems of endurance horses in England and Wales. *Preventive Veterinary Medicine*, 140, 45–52. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2017.02.018>

- Nedkova-Ivanova, R., & Valev, Y. (2020). Short-term training program for the preparation period in the endurance discipline of equestrian sport. *Journal of Applied Sports Sciences*, 4(2), 69–79. <https://doi.org/10.37393/jass.2020.02.6>
- Nelson, D. L., Cox, M. M., W. H. Freeman. (2012). *Lehninger principles of biochemistry*. Fourth edition .
- Noletto, P. G., Santos, J. B. F. dos, Rocha, F. M., Fasano, P. E., Guimarães, E. C., & Mundim, A. V. (2016). Effect of a 130-km endurance ride on the serum biochemical profile of mangalarga marchador horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, 39, 7–11. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2015.08.010>
- Poso, A. R. (2002a). Monocarboxylate transporters and lactate metabolism in equine athletes: a review. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 43(2), 63–74. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-43-63>
- Robert, C., Valette, J. P., & Denoix, J. M. (2000). The effects of treadmill inclination and speed on the activity of two hindlimb muscles in the trotting horse. *Equine Veterinary Journal*, 32(4), 312–317. <https://doi.org/10.2746/042516400777032246>
- Sacristán, A. G. (Ed.). (2016). *Fisiología veterinaria*.
- Sato, F., Omura, T., Ishimaru, M., Endo, Y., Murase, H., & Yamashita, E. (2015). Effects of daily astaxanthin and L-carnitine supplementation for exercise-induced muscle damage in training thoroughbred horses.

Journal of Equine Veterinary Science, 35(10), 836–842.
<https://doi.org/10.1016/j.jevs.2015.08.003>

Stull, C. L., & Rodiek, A. V. (2000). Physiological responses of horses to 24 hours of transportation using a commercial van during summer conditions. *Journal of Animal Science*, 78(6), 1458–1466.
<https://doi.org/10.2527/2000.7861458x>

Takahashi, T., Matsui, A., Mukai, K., Ohmura, H., Hiraga, A., & Aida, H. (2014). The effects of inclination (up and down) of the treadmill on the electromyogram activities of the forelimb and hindlimb muscles at a walk and a trot in Thoroughbred horses. *Journal of Equine Science*, 25(4), 73–77. <https://doi.org/10.1294/jes.25.73>

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.
<https://doi.org/10.15381/rivep.v31i4.19031>

Williams, J. M., Douglas, J., Davies, E., Bloom, F., & Castejon-Riber, C. (2021). Performance demands in the endurance rider. *Comparative Exercise Physiology*, 17(3), 199–218.
<https://doi.org/10.3920/cep200033>

Wonghanchao, T., Sanigavatee, K., Poochipakorn, C., Huangsak Sri, O., Yalong, M., Pongpuk, K., Thanaudom, K., Lertsakkongkul, P.,

Lappolpaibul, K., Deethong, N., & Chanda, M. (2024). Impact of different cooling solutions on autonomic modulation in horses in a novice endurance ride. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience*, 18(4), 101114. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101114>

Yáñez-Pizaña, A., Roldán-Santiago, P., Mora-Medina, P., Tordesillas, F. B., Peinado, S. F., & Rojas, D. M. (2012). Effects of transport on the metabolism of horses. *Revista Científica (Universidad Del Zulia. Facultad de Ciencias Veterinarias. División de Investigación)*, 22(5), 432–436. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=95923384006>

Younes, M., Robert, C., Cottin, F., & Barrey, E. (2015). Speed and cardiac recovery variables predict the probability of elimination in equine endurance events. *PloS One*, 10(8), e0137013. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0137013>

Zuluaga Lema, L.C. (2017). Utilidad pronóstica del lactato en pacientes equinos con trastornos de la perfusión. (trabajo de grado, universidad tecnológica de pereira). Recuperado de <https://repositorio.utp.edu.co/entities/publication/21a1dfc8-af3c-4438-a76d-c4cddfef19e6>