

Determinación de frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, lactato deshidrogenasa, creatinquinasa y ácido láctico en caballos durante competencia de salto en la Sabana de Bogotá¹

Paula Andrea Guerrero Nieto* / Luisa Portocarrero Aya**
Claudia Aixa Mutis Barreto*** / Jorge Ramírez Troncoso****

RESUMEN

El estudio presenta los primeros resultados de investigación en variables fisiológicas y sus cambios por el ejercicio en equinos en competencia de salto en el país. Se utilizaron 24 ejemplares de las razas Silla Argentina, PSI y mestizo de la Escuela de Equitación del Ejército Nacional de Colombia, que participaron en pruebas de salto (1,10 – 1,20 m) en diferentes centros ecuestres de la Sabana de Bogotá. Se determinó frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria y enzimas musculares (creatinquinasa (CK), lactato deshidrogenasa (LDH) y el ácido láctico). Se tomaron tres muestras: reposo, inmediatamente después del ejercicio y a las 6 horas posejercicio. Para la frecuencia cardíaca se utilizó un monitor POLAR S625; la frecuencia respiratoria se determinó mediante fonendoscopio; y las enzimas y el ácido láctico se analizaron en laboratorio. Se utilizó el método estadístico ANAVA para enzimas musculares y ácido láctico y estadística descriptiva para frecuencia

cardíaca y respiratoria. En los resultados se encontró un comportamiento estadísticamente significativo ($p < 0.05$) del ácido láctico y la enzima creatinquinasa, a diferencia del comportamiento de la enzima lactato deshidrogenasa, que fue no significativo. Las frecuencias cardíaca y respiratoria se elevaron de manera significativa posejercicio y regresaron a lo normal alrededor de las 6 seis horas. El ácido láctico se incrementó posejercicio y disminuyó a las 6 horas, contrario a lo reportado por otros autores. Se concluye que una vez analizadas estas variables, hay diferencias con los valores obtenidos por otros autores, que pueden deberse a la altitud, al tipo y tiempo de ejercicio realizado. Por tanto es indispensable continuar haciendo estudios en este campo.

Palabras clave: ácido láctico, CK, LDH, equinos, competencia de salto, frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria.

¹ Proyecto realizado en convenio entre la Universidad de La Salle y la Escuela de Equitación del Ejército Nacional de Colombia.

*Médica veterinaria. ULS. Correo electrónico: paulis220@hotmail.com

** Médica veterinaria. ULS Correo electrónico: lulapo@walla.com

***Médica veterinaria, M.Sc. Investigadora de la Universidad de La Salle. Correo electrónico: clamutis@unisalle.edu.co

****Médico veterinario y zootecnista, especialista en Sanidad Animal. Universidad del Tolima. Correo electrónico: mandyhorse@hotmail.com

Fecha de recepción: enero 28 de 2009

Fecha de aprobación: marzo 4 de 2009

DETERMINATION OF CARDIAC AND RESPIRATORY RATE, LACTATE DEHYDROGENASE, CREATIN KINASE AND LACTIC ACID DURING A HORSE JUMPING COMPETITION IN BOGOTA

ABSTRACT

Preliminary investigation results in physiological traits and changes due to exercise (horse jumping competition) in equines in Colombia are presented. 24 horses were selected (Silla argentina, PSI and crossbred) at the National Army Cavalry school, where cardiac and respiratory rate, creatin kinase (CK), lactic dehydrogenase (LDH) and lactic acid were monitored. Horses jumped obstacles of 1.10 to 1.20 m, and samples were taken before, immediately after and six hours following exercise. Cardiac rate was determined using a Polar S625 cardiac monitor; for respiratory rate, stethoscopes and blood samples were analyzed by spectrophotometric methods. For muscle enzymes and lactic acid, statistic analysis (ANAVA) was carried out and for cardiac and respiratory rates

descriptive statistics were performed. Results showed that lactic acid and creatin kinase had a notorious change with exercise, while lactic dehydrogenase had no alteration. Cardiac and respiratory rate had a significant increase after exercise, but return to normal in the next six hours. Lactic acid increased in a significant way and return to normal six hours after, unlike what other authors have reported. The research shows that changes are maybe due to type and time of exercise or altitude. Further research is necessary to complement topic related studies.

Keywords: Lactic acid, CK, LDH, equines, horse jumping competition, cardiac frequency, respiratory frequency.

INTRODUCCIÓN

El salto es una disciplina ecuestre que consiste en la sincronización del caballo y del jinete para saltar una serie de obstáculos en un orden dado. Esta modalidad es una de las más populares de los deportes ecuestres y la más usada por los jinetes hoy en día, incluso en Colombia. El equino, fundamentalmente, debe tener flexibilidad y fuerza, ya que requiere un gasto energético de predominancia aerobia para desplazarse de un obstáculo a otro. Durante el salto, sin embargo, presentan un gasto energético anaerobio exclusivamente; por tanto, la modalidad ecuestre de salto se considera una prueba de alto componente anaerobio, motivo por el cual es de vital importancia el entrenamiento que recibe el ejemplar para obtener su máximo desempeño durante las pruebas.

Con este trabajo de investigación se busca aportar parámetros básicos que sirvan como herramientas para el desarrollo de la fisiología y la medicina deportiva equina en Colombia, inexistentes en la actualidad, que permitan desarrollar todo el potencial genético y deportivo de los equinos en el país, estimulando a propietarios, clubes y criadores a seguir promoviendo este deporte, que genera muchos empleos directos e indirectos.

Respecto a la fisiología del deportista equino, la adaptación cardiorrespiratoria es de crucial importancia para garantizar el aporte sanguíneo y de oxígeno que demandan los músculos durante una competencia de resistencia. De igual manera, el metabolismo energético es un gran desafío, ya que se debe lograr la mejor eficiencia entre gasto de energía y producción de trabajo. La energía, obtenida de compuestos químicos, se traduce en trabajo más o menos eficiente ya sea procesada bajo un sistema aeróbico o anaeróbico. El optimizar la ecuación gasto energético-trabajo es la meta del entrenamiento (Acuña, 2005).

Fueron escogidos 24 equinos, entre machos y hembras, con edades entre 4 y 16 años, con el fin de encontrar los parámetros básicos de frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, enzimas musculares y ácido láctico a nivel de la Sabana de Bogotá. En este estudio no se alteró la rutina normal de los ejemplares durante el día de la competencia, para encontrar parámetros que se ajusten a cualquier equino dedicado a la disciplina de salto en la Sabana de Bogotá y, de esta manera, motivar a los médicos veterinarios a incursionar en la medicina deportiva equina para lograr un entrenamiento adecuado de los animales, obtener buen rendimiento y garantizar el buen desarrollo deportivo del animal, que debe ser considerado un atleta.

ENZIMAS MUSCULARES

CREATIN KINASA (CK)

Los músculos utilizan exclusivamente ATP como fuente de energía para la contracción muscular. Se identificó esta molécula como el *fosfato de creatina*, también conocida como fosfocreatina. En las fibras musculares, la enzima creatinfosfoquinasa transfiere un fosfato de alta energía del fosfato de creatina al ADP, regenerando tan rápidamente el ATP que su concentración se mantiene constante (Boffi, 2006).

LACTATO DESHIDROGENASA (LDH)

Corresponde a la categoría de oxidoreductasas, dado que cataliza una reacción Redox en la que el piruvato es reducido a lactato por la oxidación de NADH a NAD⁺. Participa en el metabolismo energético anaerobio, reduciendo el piruvato (procedente de la glucólisis) para regenerar el NAD⁺, que en presencia de glucosa es el sustrato limitante de la vía glucolítica. Al comparar los valores normales o de referencia, encontrados en la literatura (tabla 1), con los valores hallados en esta investigación, se ob-

servan diferencias significativas, lo cual confirma la necesidad de este estudio.

Tabla 1. Rangos de bioquímicas en suero de caballos adultos normales.

Medición	Rango normal (unidades SI)
CK	60-330 u/L
LDH	112-456 u/L

Fuente: Rose, R. F. y Hodgson, D.R. Manual of Equine Practice, 2002, p.585.

RESPUESTA ENZIMÁTICA DEL MÚSCULO AL EJERCICIO

La gran proporción de fibras musculares de contracción rápida especializadas en el metabolismo anaerobio que hay en los caballos de carreras es un reflejo de su elevada capacidad anaerobia. Gracias a una elevada actividad de lactato deshidrogenasa (LDH) que hay en el músculo, éstos pueden disponer rápidamente de ATP por la vía anaerobia.

Un aumento moderado en las enzimas musculares se ve reflejado en plasma o en suero, tanto en ejercicio de alta como de baja intensidad. En ejercicio de alta intensidad hay un incremento en la actividad de la CK, ASAT y LDH, generalmente al final del ejercicio en los caballos de salto. Este incremento se debe más al aumento en la permeabilidad de la membrana de la mitocondria que a un daño muscular. También estas enzimas se ven aumentadas generosamente después de un ejercicio prolongado, pero de baja intensidad. Esto indica que no siempre un aumento en las enzimas musculares evidencia un daño muscular, ni ninguna patología de este tipo (Hodgson and Rose, 1994).

ÁCIDO LÁCTICO

Uno de los productos de desecho que resultan del consumo energético muscular de larga duración es el

ácido láctico, que produce un descenso del pH muscular y trae como consecuencia la fatiga. La medición del lactato sanguíneo en respuesta a la actividad física es otra forma de determinar la tolerancia al ejercicio; esta medición puede realizarse junto con la prueba de la frecuencia cardiaca, para tener mayor información acerca de la adaptabilidad del caballo. En ejercicios de baja a moderada intensidad (menos de 450 m/minuto) se produce poca acumulación de lactato en la mayoría de los equinos (Robinson, 1995).

La concentración de lactato sanguíneo en un caballo en descanso es aproximadamente 0,5 mmol/L. Pequeños incrementos en esta concentración ocurren a medida que la velocidad del ejercicio aumenta; a velocidades más altas, la concentración de lactato sanguíneo se incrementa exponencialmente.

La velocidad a la cual se acumula el ácido láctico depende de muchos factores inherentes al animal. Estos incluyen la tasa de suministro cardiaco de oxígeno al músculo en ejercicio, la habilidad de la célula muscular para usar oxígeno y la tasa de metabolización del lactato en la célula muscular durante el ejercicio. Estos factores están limitados por las características fisiológicas propias del caballo como individuo, pero pueden ser mejoradas con el entrenamiento (Acuña, 2005).

EFFECTOS DEL ENTRENAMIENTO EN EL METABOLISMO DEL LACTATO

El entrenamiento puede mejorar la tasa de remoción del lactato por el hígado y por las fibras musculares aeróbicas en las cuales se usa como sustrato para la producción de energía. Esto se refleja en una pequeña caída del pH, inducida por el ejercicio después del entrenamiento, y una rápida tasa de desaparición del lactato del plasma.

El hecho de que el entrenamiento de alta intensidad aumente el número de eritrocitos aumenta la capa-

cidad transportadora de oxígeno y el espacio de almacenamiento del lactato, que deben beneficiar la capacidad de trabajo en aumento. Sin embargo, un incremento excesivo en el volumen sanguíneo puede llevar a un aumento en la viscosidad de la sangre, e impedir el flujo sanguíneo y, por consiguiente, disminuir la efectividad del transporte de oxígeno a los músculos (Hyypä, 1995).

Mediante estudios incrementales se determina la frecuencia cardiaca (FC) y la velocidad a la que comienza la acumulación de lactato por encima de 4 mmol/l; en este punto se considera que se cambia de metabolismo aeróbico a anaeróbico (Acuña, 2005).

RESPUESTA CARDIOVASCULAR AL EJERCICIO

Durante el ejercicio, el flujo sanguíneo al músculo esquelético se incrementa en proporción al nivel de actividad del músculo. El flujo de sangre a un músculo puede llegar a multiplicarse por veinte; al mismo tiempo, la transferencia de oxígeno desde la sangre al músculo puede triplicarse. Como resultado, el oxígeno utilizado por el músculo puede aumentar hasta sesenta veces. La hiperemia activa es la principal causa del aumento de flujo al músculo; el descenso de la resistencia periférica resultante conduce a un incremento del gasto cardiaco mediado por la inervación simpática. A la vez, se produce una reducción del flujo hacia el intestino y el riñón, y en niveles de ejercicio elevados, a la piel. El gasto cardiaco puede aumentar por encima de diez veces sobre el nivel de reposo debido a grandes incrementos en la frecuencia cardiaca y pequeños cambios en el volumen sistólico.

En general, la frecuencia cardiaca de los caballos durante el trabajo alcanza promedios máximos de 129 ± 4 lat/min en la mañana y de 137 ± 8 lat/min en la tarde, mientras que en reposo los valores promedio

son 38 ± 3 y 40 ± 2 lat/min en la mañana y en la tarde, respectivamente (Eckert, 1997).

RESPUESTA RESPIRATORIA AL EJERCICIO

El ejercicio incrementa la utilización de O_2 , producción de CO_2 y de ácidos de origen metabólico. El gasto cardiaco aumenta para cubrir las elevadas demandas de los tejidos, aunque el tiempo de tránsito de la sangre a través de los capilares pulmonares se reduce; todavía se produce una transferencia de gases particularmente completa. El volumen ventilatorio aumenta con objeto de mantener las tensiones de gases en la sangre arterial frente al incremento de flujo sanguíneo. El aumento de la ventilación en los mamíferos es rápido, coincidiendo con el inicio del ejercicio. Este repentino incremento inicial en el volumen ventilatorio es seguido por un ascenso más gradual hasta que se alcanza un estado estacionario, tanto para el volumen ventilatorio como para la captación de oxígeno. Cuando finaliza el ejercicio, hay un brusco declive en la respiración, seguido por un descenso gradual en el volumen ventilatorio. Durante el ejercicio, los niveles de O_2 disminuyen y los de CO_2 e H^+ aumenta en sangre venosa, aunque las P_{O_2} y la P_{CO_2} medias en sangre arterial no varían de forma notable, excepto durante un ejercicio máximo. (Hodgson, 1994).

Hay un incremento mucho mayor de la ventilación durante el ejercicio de intensidad máxima del que se observa durante el ejercicio moderado; la relación entre ventilación y captación de oxígeno durante el ejercicio de intensidad máxima no es lineal, sino exponencial. Este gran aumento en la ventilación es impulsado probablemente por los mismos mecanismos que en el ejercicio moderado, con la estimulación adicional de una notable acidosis metabólica y elevados niveles de catecolaminas circulantes (Eckert, 1997).

Los promedios de frecuencia respiratoria en reposo durante la mañana son $24,8 \pm 3,5$ resp/min; en ejercicio

se incrementan a $91,8 \pm 14,2$ resp/min aproximadamente. Lo normal en un equino adulto en reposo es 8 a 12 ciclos por minuto. Se mide más fácilmente parándose la persona detrás y a un lado del caballo, observando el movimiento de la zona de las costillas (Solís, 1998).

En la tabla 2, se pueden analizar las diferencias entre las diversas modalidades deportivas (carreras, enduro, salto). Se observa que el ejercicio de salto genera la mayor variación de la frecuencia respiratoria posejercicio.

Tabla 2. Comparativo de frecuencias respiratorias en equinos en tres diferentes modalidades.

	Carreras	Enduro	Salto
Preejercicio (resp/min)	8-16 Fuente: (Kiding, 2001)	14-18 Fuente: (Muñoz, 2002)	8-12 Fuente: (Jablonska, 1991)
Posejercicio (resp/min)	34-48 Fuente: (Jablonska, 1991)	34-38 Fuente: (Ose, 2001)	62-67 Fuente: (Ose, 2001)

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en Bogotá D.C., 2600 a 3000 msnm, con temperatura promedio anual de 14 °C, presión atmosférica de 752 milibares, precipitación anual de 1013 mm y humedad relativa anual de 72%. Se utilizaron 24 ejemplares (machos y hembras) de la Escuela de Equitación propiedad del Ejército Nacional de Colombia, entre 4 y 16 años de edad y con una condición corporal de 3 a 4. Entre éstos, se encontraban ejemplares de las razas Silla Argentina, PSI y mestizo. Se les realizó un examen clínico completo con el fin de determinar que su estado de salud fuera el adecuado para el tipo de estudio que iba a realizarse. A los ejemplares participantes en la categoría de salto de 1,10 a 1,20 metros se les realizó el muestreo en un único día de competencia. Se tomaron tres muestras por venopunción de la yugular: la primera, antes de iniciar el ejercicio (T0); la segunda, inmediatamente después de finalizado el ejercicio (T1); y la tercera, 6 horas luego de la segunda toma (T2). En cuanto a la frecuencia cardiaca, las tomas se realizaron antes, durante y después de la prueba de salto mediante un equipo POLAR®; por medio de auscultación, se realizó la medición de la frecuencia respiratoria antes y después de la competencia.

TOMA DE MUESTRAS

Para el estudio en competencia, los caballos se encontraban saltando obstáculos en concurso a alturas entre 1,10 m y 1,20 m, la longitud de la pista era de 470 metros, donde se encontraban entre 12 y 14 obstáculos. Los ejemplares manejaban una velocidad de 350 m/min; el tiempo ideal de la prueba era 81 segundos y el tiempo límite era 162 segundos, con 20 minutos aproximadamente de paddock (calentamiento) antes de iniciar la prueba.

La frecuencia cardiaca se controló mediante un monitor Polar Sport Tester S625x, compuesto por reloj, sensor transmisor y electrodos ajustables a la cincha del caballo. El monitor permite establecer unos límites de frecuencia cardiaca (mínimo y máximo). El monitor se instaló entre 5 y 10 minutos antes de iniciar el calentamiento previo a la competencia y teniéndolo puesto durante el tiempo de calentamiento (paddock) y durante la prueba. Finalizada ésta, se conservó puesto el equipo 30 minutos con el fin de determinar la recuperación cardiaca posejercicio en cada ejemplar.

La frecuencia respiratoria se determinó mediante auscultación directa con fonendoscopio, el cual se

ubicó en los primeros anillos traqueales a la altura de la laringe, que se pueden palpar en la zona ventral del cuello. Se procedió a tomar la frecuencia respiratoria en reposo; inmediatamente después de finalizada la prueba, así como 15 y 30 minutos después de finalizada la prueba, con el fin de evaluar la recuperación poscompetencia.

Se determinó el perfil enzimático (CK y LDH) y el ácido láctico mediante la toma de sangre venosa antes de la prueba (T0), después de ésta (T1) y 6 horas luego de la prueba (T2).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

FRECUENCIA CARDIACA Y FRECUENCIA RESPIRATORIA

Para la frecuencia cardiaca se manejó un modelo de estadística descriptiva aplicado por periodo: antes (T0), durante, inmediatamente después de finalizado el entrenamiento (T1) y 15 (T15) y 30 minutos después de éste (T30); para la frecuencia respiratoria se midió antes (T0), inmediatamente después de finalizado el entrenamiento (T1) y 15 (T15) y 30 minutos después de éste (T30). El modelo constó de promedio (\bar{x}), desviación estándar (S), error estándar (S \bar{x}), coeficiente de variación (CV), tamaño de la muestra (n), máximos y mínimos.

ENZIMAS Y ÁCIDO LÁCTICO

Se manejó un modelo de estadística descriptiva aplicado por periodo (pre, inmediatamente después del ejercicio [post₁], y 6 horas después del ejercicio [post₂]); el modelo consta de promedio, desviación estándar, error estándar, coeficiente de variación, tamaño de la muestra.

El modelo utilizado fue completamente aleatorio

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

A los tratamientos con significancia $p < 0.05$ se les realizó prueba no planeada de promedio de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

FRECUENCIA CARDIACA (FC) Y RESPIRATORIA (FR)

El caballo de salto requiere energía aeróbica para trasladarse de un obstáculo a otro, pero el salto propiamente dicho es realizado exclusivamente en forma anaeróbica. En un circuito cuya duración difícilmente supera el minuto, los caballos muestran FC de alrededor de 160 a 170 L/min (con FC_{máx} de 200) y niveles de lactato alrededor de 10 mmol/L que ponen de manifiesto el alto comportamiento anaeróbico de la prueba (Boffi, 2007).

En la mayoría de los concursos de salto, se requiere una velocidad entre 325 y 400 m/min, aunque el promedio puede aumentar si uno de los factores determinantes de la prueba es la velocidad.

En las tablas 3 y 4 se muestran los valores promedio de la frecuencia cardiaca (L/min) y frecuencia respiratoria (C/min) en competencia, con su respectiva desviación estándar; se observa un aumento estadísticamente significativo ($p < 0,05$), inmediatamente después del ejercicio, de hasta tres veces el valor de reposo y que sólo a los 30 minutos de finalizado el ejercicio regresan los valores a sus niveles basales.

En las gráficas 1 y 2 se puede observar el claro incremento de las frecuencias cardiaca y respiratoria de T0 a T1 por efectos del ejercicio y luego el descenso gradual hasta su recuperación.

Tabla 3. Media \pm desviación estándar de la frecuencia cardiaca (L/min) en cuatro tiempos diferentes de actividad (preejercicio, inmediatamente después, 15 minutos y 30 minutos posejercicio) en competencia.

Frecuencia cardiaca (L/min)					
Tiempo	N	Mean	SD	Lím. sup.	Lím. inf.
0	24	41,625	11,185	46,348	36,902
1	24	127,88	25,620	138,69	117,06
15	24	56,917	12,813	62,327	51,506
30	24	47,250	10,613	51,731	42,769

Gráfica 1. Media de la frecuencia cardiaca (L/min) en cuatro tiempos diferentes de actividad (preejercicio, inmediatamente después, 15 y 30 minutos posejercicio) en competencia.

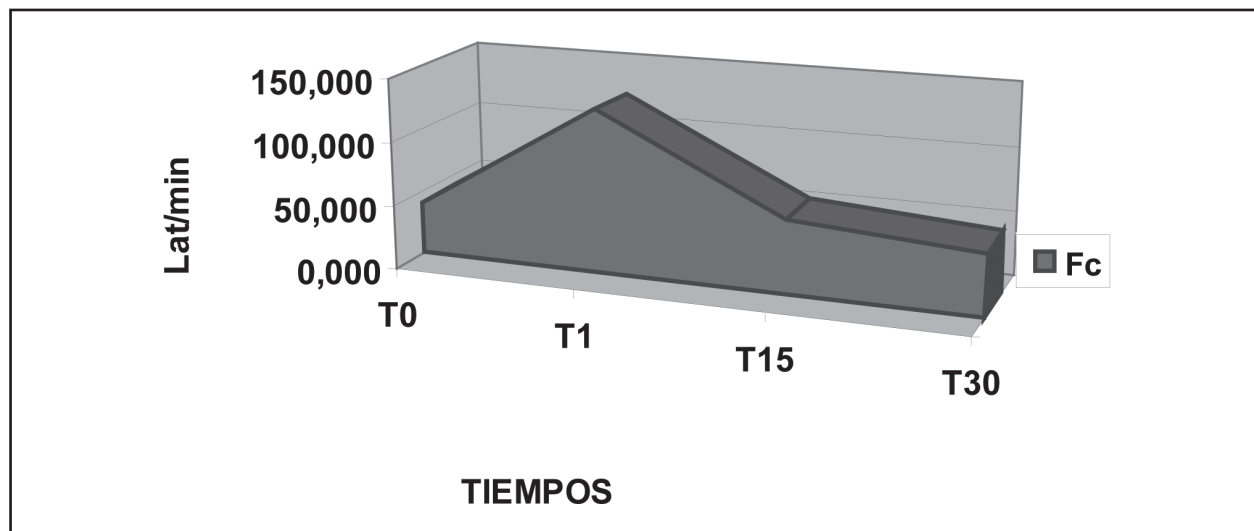
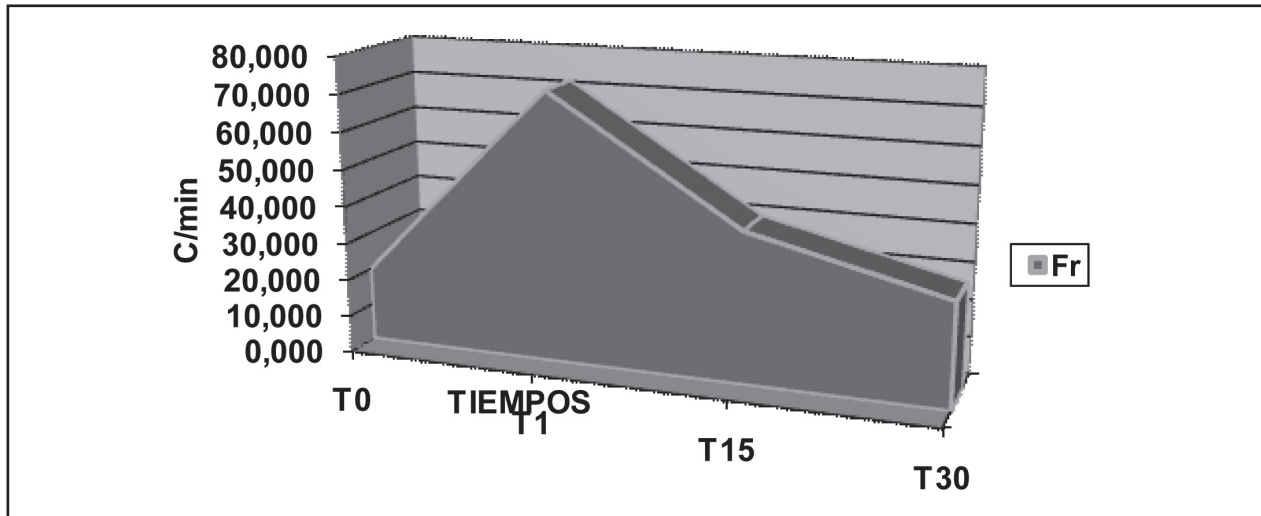


Tabla 4. Media \pm desviación estándar de la frecuencia respiratoria (C/min) en cuatro tiempos diferentes de actividad (preejercicio, inmediatamente después, 15 minutos y 30 minutos posejercicio) en competencia.

Frecuencia respiratoria (C/min)					
Tiempo	n	Mean	SD	Lím. sup.	Lím. inf.
0	24	20,000	8,1721	23,451	16,549
1	24	72,333	20,231	80,876	63,791
15	24	40,250	18,588	48,099	32,401
30	24	27,917	14,512	34,045	21,789

Gráfica 2. Media de la frecuencia respiratoria (C/min) en cuatro tiempos diferentes de actividad (preejercicio, inmediatamente después, 15 minutos y 30 minutos posejercicio) en competencia.



**FRECUENCIA CARDIACA (FC)
DURANTE Paddock**

En la tabla 5 se encuentran los valores promedio de la frecuencia cardiaca durante el paddock (sitio de calentamiento previo a la prueba) y durante la competencia, con la desviación estándar. Estos resultados fueron estadísticamente no representativos ($p > 0.05$) (gráfica 3).

Tabla 5. Media \pm desviación estándar de la frecuencia cardiaca (Lat/min) durante el tiempo de calentamiento antes de la competencia (paddock).

Frecuencia cardiaca					
	n	Mean	SD	Lím. sup.	Lím. inf.
Máximos	24	152,42	24,238	162,65	142,18
Mínimos	24	55,292	20,081	63,771	46,812
Tiempo	24	20,206	10,112	24,476	15,936

Según Rose y Hodgson (1994), el calentamiento (paddock) de un concurso de salto envuelve un ejercicio moderado con frecuencias cardiacas de 96 L/min, pero puede llegar hasta 173L/min. La frecuencia cardiaca muestra sus picos cada vez que el caballo salta un obstáculo, y parece haber una correlación directa entre la frecuencia cardiaca y la altura

del salto. Y éste está relacionado con velocidades rápidas y lo extenso de los obstáculos. En el presente estudio, las frecuencias estuvieron entre $55,292 \pm 20,081$ L/min y $152,42 \pm 24,238$ L/min. La frecuencia mínima estuvo un poco por debajo de lo referenciado por el autor; los valores máximos, en promedio, fueron semejantes a lo reportado por éste.

Gráfica 3. Máximos y mínimos de la frecuencia cardiaca (Lat/min) durante el tiempo de calentamiento antes de la competencia (paddock).

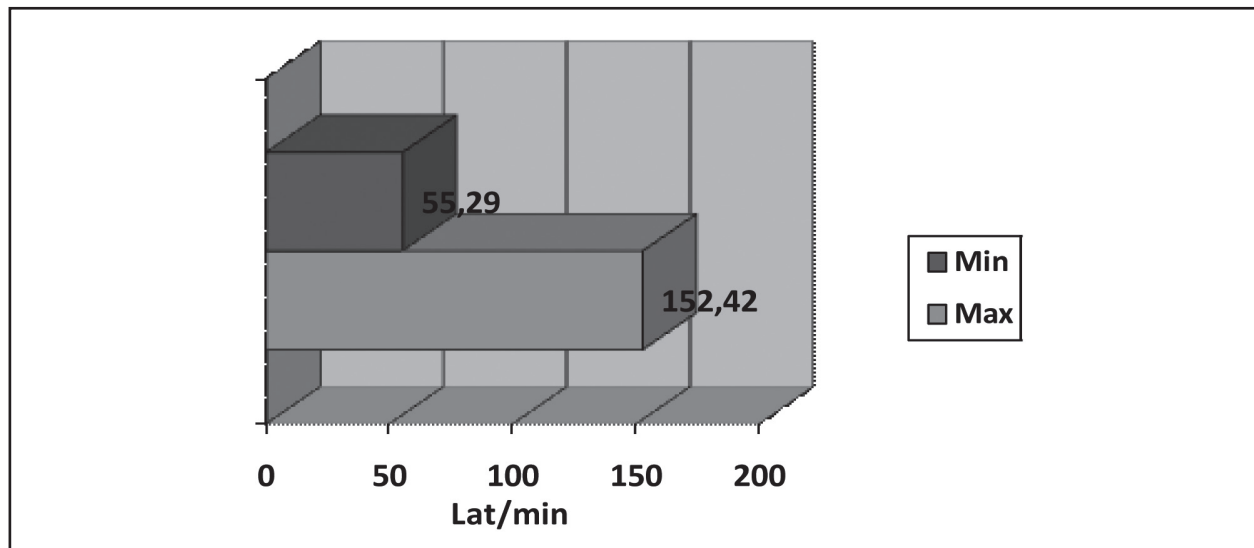
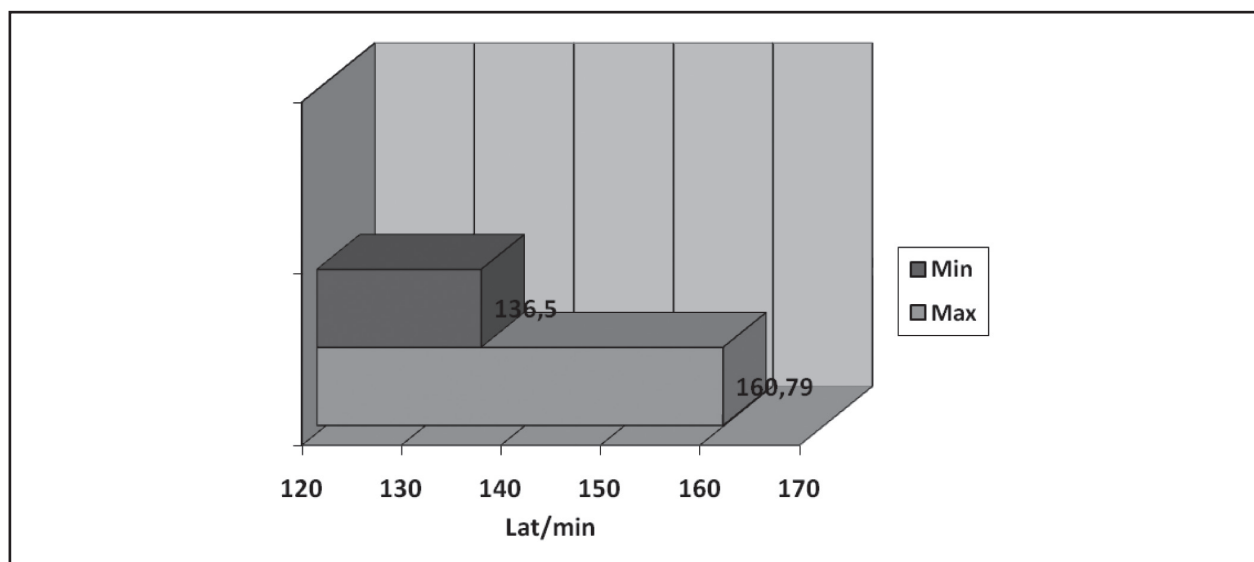


Tabla 6. Media \pm desviación estándar de la frecuencia cardiaca (Lat/min) durante el tiempo de la competencia.

Frecuencia cardiaca					
	n	Mean	SD	Lím. sup.	Lím. inf.
Máximos	24	160,79	25,675	171,63	149,95
Mínimos	24	136,50	29,280	148,86	124,14
Tiempo	24	73,821	8,1549	77,265	70,378

Gráfica 4. Media de la frecuencia cardiaca (Lat/min) durante el tiempo de la competencia.



FRECUENCIA CARDIACA (FC) DURANTE COMPETENCIA

En la tabla 6, se encuentran los valores promedio de la frecuencia cardiaca durante el paddock (calentamiento previo a la prueba) y durante la competencia, con la desviación estándar. Estos resultados no fueron estadísticamente representativos ($p > 0.05$) (gráfica 4).

Rose y Hodgson (1994) reportan que mientras los caballos esperan en la puerta, la frecuencia cardiaca está entre 71 y 93 latidos por minuto. Durante la prueba, el corazón aumenta constantemente los latidos a medida que el caballo va progresando en la prueba, dando picos de 205 L/min. En este estudio, la FC durante la competencia tuvo valores mínimos de $136,50 \pm 29,280$ L/min y valores máximos de $160,79 \pm 25,675$ L/min, que aunque no llegan a la frecuencia indicada por el autor, es una frecuencia bastante alta. Estos resultados coinciden con la afirmación de estos autores, según la cual esos valores altos de frecuencia cardiaca confirman que la disciplina del salto es un deporte vigoroso o de mucha energía a pesar de no requerir altas velocidades.

Rose y Hodgson (1994) expresan también que la acumulación de lactato en la sangre ocurre cuando la

frecuencia cardiaca está por encima de 150 a 160 L/min. Por consiguiente, no es sorprendente encontrar una elevación marcada de ácido láctico en la sangre después de una competencia de salto, como se indica a continuación.

ÁCIDO LÁCTICO

En la tabla 7, se presentan los valores promedio de las concentraciones plasmáticas de ácido láctico con su respectiva desviación estándar. Al comparar el comportamiento de concentración en la sangre durante la competencia de salto, en la categoría de 1,10 a 1,20 metros, de muestras tomadas antes de la competencia, T0, ($2,2231 \pm 1,2807$ mmol/L), inmediatamente después, T1, ($4,5426 \pm 3,6462$ mmol/L) y 6 horas posejercicio, T2, ($2,2724 \pm 1,5025$ mmol/L), se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los diversos tiempos de muestreo. La muestra tomada inmediatamente después de realizado el ejercicio presentó un comportamiento diferente a las otras tomas, ya que la concentración de lactato aumentó de forma estadísticamente significativa ($p < 0.05$), mientras las tomas realizadas antes de la competencia y seis horas después de la misma mostraron valores similares (gráfica 5).

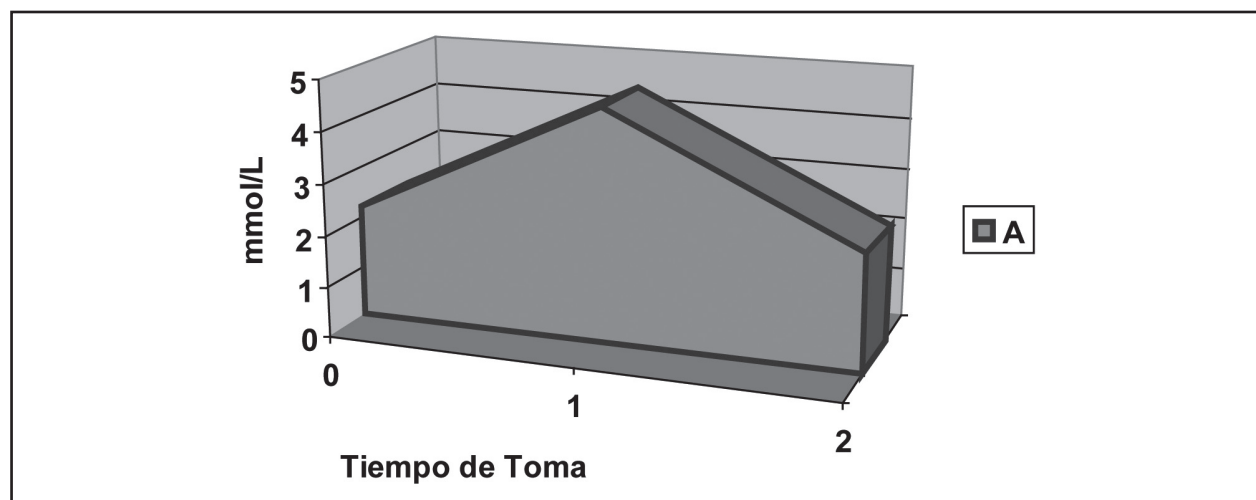
Tabla 7. Media \pm desviación estándar de la actividad plasmática de ácido láctico (A) (mmol/L) en tres tiempos diferentes de actividad (preejercicio, inmediatamente después y 6 horas posejercicio) en competencia.

	N	A
T0	25	$2,2231 \pm 1,2807$
T1	25	$4,5426 \pm 3,6462$
T2	25	$2,2724 \pm 1,5025$

En estos resultados se puede deducir que los equinos muestreados presentan aumento de las concentraciones de ácido láctico al finalizar el ejercicio, debido a la actividad metabólica del músculo, y que dicho aumento se debería a una deuda de oxígeno. Pérez y col. (1992) reportan que los valores retornan a la nor-

malidad aproximadamente a las 24 horas posejercicio; sin embargo, en el presente estudio se encontró que incluso 6 horas después de haber finalizado el ejercicio, las concentraciones séricas de ácido láctico comienzan a reestablecerse a valores muy cercanos a los encontrados en la etapa de reposo.

Gráfica 5. Curva media \pm desviación estándar de la actividad plasmática de ácido láctico (A) (mmol/L) en tres tiempos diferentes de actividad (preejercicio, inmediatamente después y 6 horas posejercicio) en competencia.



CREATINKINASA (CK) Y LACTATO DESHIDROGENASA (LDH)

En la tabla 8, se presentan los valores promedio de las concentraciones séricas de lactato deshidrogenasa (LDH), con la respectiva desviación estándar. Al comparar su comportamiento durante la competencia de salto, en la categoría de 1,10 a 1,20 metros, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) en ninguno de los tiempos considerados en el estudio.

Esa tabla también presenta los valores promedio de las concentraciones séricas de creatinquinasa (CK), con la respectiva desviación estándar. Al comparar su comportamiento durante la competencia de salto, en la categoría de 1,10 a 1,20 metros, de muestras tomadas antes de la competencia, T0, ($136,860 \pm 42,94 \text{ mmol/L}$), inmediatamente después, T1, ($224,28 \pm 150,94 \text{ mmol/L}$) y 6 horas posejercicio, T2, ($136,860 \pm 42,94 \text{ mmol/L}$), se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$). Las muestras tomadas antes de comenzar la competencia (T0) e inmediatamente después de ésta (T1) se comportaron de modo diferente entre sí, mientras que la muestra tomada 6 horas después de la competencia (T2) tuvo un comportamiento similar al de las muestras nombradas.

La muestra tomada inmediatamente después de la prueba mostró los valores más altos, en relación con los otros dos momentos de muestreo. Esto indica que el equino, al realizar un ejercicio de alta intensidad pero de corto tiempo, libera creatinquinasa al torrente sanguíneo, que se metaboliza y retorna a valores similares a los del animal en reposo, a las 6 horas de haber culminado la prueba (gráfica 6).

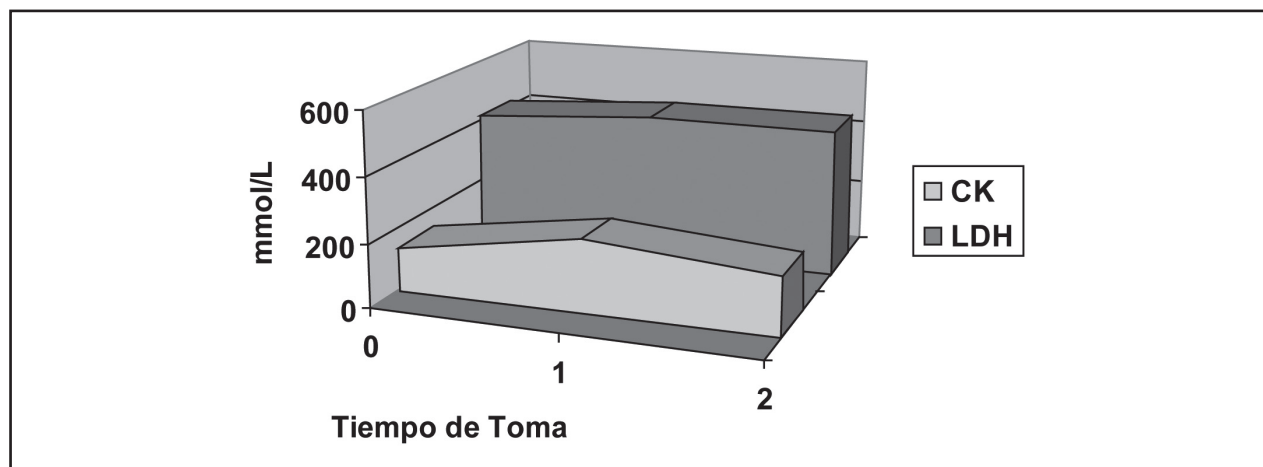
Un estudio hecho por Snow y col. (1982) indica que los incrementos observados en la actividad de estas enzimas fueron moderados y sus valores se mantienen dentro de rangos normales para la especie. Estos resultados parecen indicar que dicho aumento es una consecuencia fisiológica de la intensidad del ejercicio.

Sin embargo, Kaneko (1989) reportó que no se puede descartar completamente la posibilidad de que el aumento de la actividad de las enzimas en algunos caballos está asociado a daño celular como consecuencia de mayor esfuerzo muscular. Este concepto en el ejercicio clínico diario no debe ser descartado, ya que si algún ejemplar presenta sintomatología clínica que indique algún tipo de daño muscular, ésta debe ser correlacionada con pruebas bioquímicas.

Tabla 8. Media ± desviación estándar de la actividad sérica de lactato deshidrogenasa (LDH) (mmol/L) creatinkinasa (CK) (mmol/L) en tres tiempos diferentes de actividad (preejercicio, inmediatamente después y 6 horas posejercicio) en competencia.

	n	T0	T1	T2
LDH	25	417,680 ± 150,77	457,680 ± 215,05	457,160 ± 175,98
CK	25	136,860 ± 42,94	224,280 ± 150,94	180,370 ± 79,785

Gráfica 6. Media ± desviación estándar de la actividad sérica de lactato deshidrogenasa (LDH) (mmol/L) creatinkinasa (CK) (mmol/L) en tres tiempos diferentes de actividad (pre ejercicio, inmediatamente después y 6 horas posejercicio) en competencia.



Este comportamiento se debe a que la liberación de la CK, en general, es el paso de enzimas desde la fibra muscular hacia el intersticio y luego a la sangre, debido a los trastornos estructurales y funcionales que experimentan tanto la membrana celular como las otras subestructuras de ésta cuando aumentan los catabolitos de la contracción muscular y falta oxígeno. El grado de alteración de estas estructuras puede inferirse considerando que la elevación de la creatinfosfoquinasa (CPK) corresponde a alteración funcional de las membranas (Bayly, 1987; Johnson, 1981).

La CK es una enzima específica del tejido muscular y cerebral, de vida media corta y de bajo peso molecular (Rudolph, 1985). Los valores usuales de CK varían entre 60 y 330 UI/L según Rose y Hodgson (2002). Las tasas plasmáticas son muy sensibles

al daño muscular, así que un daño muscular débil (transporte en buenas condiciones, ejercicio físico moderado, inyección intramuscular) es suficiente para producir un alza en la concentración plasmática de esta enzima, con una disminución rápida una vez finalizada la alteración muscular (antes de 72 horas) (Michaux, 1987).

Los incrementos en la actividad sérica de CK se deberían a cambios en la permeabilidad celular y no a un daño en la célula (Islas, 1992), siendo consecuencia de la hipoxia celular generada por el trabajo muscular anaeróbico (Milne, 1982).

Ya que la actividad sérica de CK, además de indicar la severidad del ejercicio (Barton, 2003), señala también el grado de adaptación de los equinos al traba-

jo (Harris, 1998) (Muñoz, 2002), se infiere que los animales de este estudio son tolerantes al ejercicio implementado y que se adaptan fácilmente a éste.

El incremento de la actividad de las enzimas musculares es una respuesta común observada en el caballo, cualquiera sea el ejercicio al cual es sometido. Por ejemplo, se han observado incrementos significativos después de carreras de resistencia (Lucke y Hall, 1978; Rose y col., 1980), competencias de polo (Craig, 1985) y de salto (Lekeux, 1991). Resultados similares han sido observados en caballos de tiro sometidos a ejercicios de tracción de diferente intensidad y duración (Pérez y col., 1992, 1996).

Los resultados vistos en el estudio en la etapa de competencia indican que la liberación de enzimas, tanto CK como LDH, se debe al ejercicio realizado durante el paddock y durante la competencia; como reporta Michaux (1987), parte de esa liberación se debe al estrés experimentado durante el transporte al sitio del concurso. De igual manera, se observa que los valores de CK encontrados inmediatamente después de la competencia son más altos que los encontrados 6 horas después. Esto indica que la enzima es metabolizada de forma rápida, confirmando la teoría de Snow y col. (1982), según la cual la rápida recuperación de la actividad a valores de reposo en la tarde del día de la competencia parece indicar que su aumento de actividad en el plasma resulta de un cambio de permeabilidad de fibras intactas más que de una alteración permanente en la integridad celular.

El comportamiento de la LDH muestra que, 6 horas después de finalizado el ejercicio, no hay una disminución en sus concentraciones séricas tan marcada como la vista en la CK, lo cual indica que esa enzima presenta un metabolismo más lento, comparado con

la esta última. Además, no se presentó un cambio estadísticamente significativo ($p > 0.05$) a través de los tres tiempos de toma de muestras durante el día de la competencia.

CONCLUSIONES

La participación de un equino en prueba de salto implica esfuerzo físico, acompañado de estrés por el transporte, el llegar a un sitio desconocido, encontrar animales con los que no ha convivido y sortear obstáculos diferentes a los que salta en entrenamiento. Esto ocasiona una serie de cambios de las variables fisiológicas para adaptarse a estas situaciones y responder adecuadamente manteniendo su homeostasis.

Las variables que tienen un cambio significativo posejercicio son la frecuencia cardiaca y el ácido láctico; este último presentó una recuperación diferente a lo reportado por otros autores, que veían su recuperación alrededor de las 24 horas. En esta investigación, se halló que a las 6 horas volvía a los niveles normales.

Para el caso de la creatinquinasa, la actividad enzimática se vio afectada por el transporte, el trabajo de calentamiento y por la competencia, lo que se compensa cerca de las 6 horas posejercicio. Esta información permite concluir que su incremento se debió a los factores mencionados y no a daños de las células musculares.

Esto reafirma la idea de continuar el estudio del comportamiento de las variables fisiológicas de los equinos atletas, en nuestra altitud y latitud, con el fin de dar un soporte científico al entrenamiento que realizan estos ejemplares atletas y desarrollar el máximo potencial en competencia.

BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, M. "Entrenamiento del caballo de Endurance". infohipico.com. 2005. <http://www.infohipico.com/hipico/content/view/full/1871>
- Barton, M.H., Williamson, L., Jacks, S. and Norton, N. "Body weight, hematologic findings, and serum and plasma biochemical findings of horses competing in a 48-, 83-, or 159 km endurance ride under similar terrain and weather conditions". *Am. J. Vet. Res.* 64. 6 (2003): 746-53.
- Bayly, W.M.. "The Interpretation of Clinicopathologic Data from de Equine Athlete". *The Vet. Clinics of North American Equine Practice* 3. 3 (1987): 361-647.
- Boffi, F. *Fisiología del ejercicio en equinos*. Buenos Aires: Editorial Intermédica, 2006.
- Eckert, R. y Randal, B. *Fisiología animal mecanismos de adaptación*. Cuarta edición. McGraw-Hill, 1997.
- Harris, P.A. Marlin, D.J. and Gray, J. "Plasma aspartate aminotransferase and creatine kinase activities in thoroughbred racehorses in relation to age, sex, exercise and training". *Vet J.* 155. 3 (1998): 295-304.
- Hyppá, S. Fluid, "Electrolyte, and Acid-Base Responses to Exercise in Race Horses. Fluids and electrolytes in Athletic Horses. *Veterinary Clinics of North America*". *Equine Practice* 14. 1 (April | 1998).
- Hodgson, D.R. and Reuben J., R. *The Athletic Horse: Principles and practice of equine sport medicine*. Philadelphia: W. B. Saunders, 1994.
- Islas, A., Pérez, R., Rojas, R., Jara, C., Mora, G., Recabarren, S. y Hetz, E. "Actividad sérica de creatina de fosfoquinasa, aspartato aminotransferasa, deshidrogenasa láctica y fosfatasa alcalina en equinos mestizos de tiro sometidos a esfuerzo prolongado de tracción". *Arch. Med. Vet.* 1 (1992): 53-59.
- Johnson, B.D. and R.B. Perce. "Unique Serum Isoenzyme Characteristics in Horse Having Histories of Rhabdomyolysis (Tying Up)". *Equine Practice* 3. (1981): 24-31.
- Kaneko, J.J. *Clinical biochemistry of domestic animals*. 4th ed., San Diego: Academic Press, 1989.
- Lekeux, P., T. Art, A. Linden, D. Desmecht and H. Amory. "Heart rate, hematological and serum biochemical responses to show jumping". *Equine Exercise Physiology* 3 (1991): 385-390. Lucke, J.N. and G.M. Hall. "Biochemical changes in horses during a 50-mile endurance ride". *Veterinary Record* 102 (1978): 356-358.
- Michaux, J. M., Rius, C. and Roche-Fondeur, S. "Particularités de la biochimie equine (foie, rein, muscle)". *Rec. Med. Vet.* 163. (1987): 1083-1089.
- Miller, P. A. and Lawrence, L. M. "Changes in equine metabolic characteristics due to exercise fatigue". *Am. J. Vet. Res.* 47 (1986): 2184-2186.
- Milne, D.W. "Biochemical parameters for assessment of conditioning in the horse". *Proc. Am. Assoc. Equine Pract.* 28 (1982): 49-53.
- Muñoz, A., Riber, C., Santiesteban, R., Lucas, R.G., and Castejon, F.M. "Effect of training duration and exercise on blood-borne substrates, plasma lactate and enzyme concentrations in Andalusian, Anglo-Arabian and Arabian breeds". *Equine Vet. J. (Suppl. Sep 34)* (2002): 245-51.
- Robinson, E. *Terapéutica actual en medicina equina* 2. Buenos Aires: Intermédica, 1995.
- Rose, R.F. and Hodgson, D.R. *The Athletic Horse: Principles and Practice of Equine Sports Medicine*. Philadelphia: W. B. Saunders, 1994.
- Rose, R.F. and Hodgson, D.R. *Manual of Equine Practice*. 2ª ed. Philadelphia: W. B. Saunders, 2000

Rose, R.J. et al. "Responses to sub maximal treadmill exercise and training in the horse: changes in hematology, arterial blood gas and acid base measurements, plasma biochemical values and heart rate". *The Veterinary Record* 113. 26/27 (1983): 612-618.

Rudolph, W. "Perfiles bioquímicos en animales domésticos". *Monograf. Med. Vet.* 7. 2 (1985): 5-16.

Snow, D.H. and G. McKenzie. "Some metabolic effects of maximal exercise in the horse and adaptations with training". *Equine Vet. J.* 9 (1977): 134-140.

Snow, D.H., M.G. Kerr, M.A. Nimmo, and E.M. Abbott. "Alterations in blood, sweat, urine and muscle composition during prolonged exercise in the horse". *Vet. Rec.* 110 (1982): 377-384.