

UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia



“Perfiles enzimáticos y constantes fisiológicas en caballos alto andinos de carrera de la provincia de Canas - Cusco”

Tesis para optar el Título Profesional de:

MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

FRANK GERARDO OVIEDO CCAHUATA

Bachiller en Medicina Veterinaria y Zootecnia

LIMA – PERÚ

2020

Dedico este trabajo a mi padre, madre que desde
el cielo me bendice y guía, hermanas (os)
y enamorada, quienes me brindaron
su apoyo a lo largo de mi vida
Universitaria.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida con sueños, metas, valor y voluntad para hacerlos realidad.

Agradezco a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Peruana Cayetano Heredia y docentes, por las facilidades en la utilización de las instalaciones y material de laboratorio.

A mi asesor de tesis Dr. Hugo Deza, por el apoyo constante y guía que me brindo durante el desarrollo de esta investigación dedicar su tiempo incondicional.

Al Mg. Danilo Peso responsable del laboratorio de diagnóstico de servicio veterinario LADSEV) y del CERSEU–IVITA - Maranganí por la colaboración en el procesamiento de muestras.

Al Dr. Renato Zúñiga, por brindarme sus conocimientos, experiencia y orientación durante el procesamiento de muestras.

A los docentes de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, quienes me brindaron sus conocimientos durante toda mi vida universitaria.

A los propietarios de los caballos de los diferentes distritos de la provincia de Canas, Cusco por su interés y apoyo en esta investigación.

A mis familiares que me apoyaron moralmente en lograr mis objetivos.

A todos quienes aportaron y colocaron su granito de arena para hacer posible dicho trabajo de investigación

ABSTRACT

The experiment was carried out with the objective to evaluate the physiological constants and enzymatic profiles in High-Andean horses in three states of physical activity (rest, immediately after exercise and 6 hours after exercise - recovery). The study was carried out in the districts of Langui, Layo, Kunturkanki, Checca and Yanaoca of the Province of Canas, Cusco. Thirty High-Andean horses from 4 to 8 years of age were included in the study, in which were evaluated the heart rate (HR) and respiratory rate (RR) in the three states of physical activity. Blood samples were also taken at the same times in order to evaluate serum concentrations of creatin kinase (CK) and lactate dehydrogenase (LDH) enzymes by spectrophotometry using specific methodology for each kit. There were determined that HR and RR were affected by the time of evaluation ($P < 0.05$), the highest values were observed immediately after exercise, the age of the animals did not have effect ($P > 0.05$) on HR; but, in the RR was observed a greater number of breaths per minute in horses of 8 years of age ($P < 0.05$); while, the origin of the animals did not affect ($P > 0.05$) the HR and RR. Serum concentrations of CK and LDH were not affected by the time of evaluation ($P > 0.05$); but, CK and LDH were significantly affected by the origin of the animals ($P < 0.05$); thus, serum concentrations of CK in Langui horses were higher; on the other hand, LDH was higher ($P < 0.05$) in horses of Kunturkanki and Yanaoca. Finally, the age factor only had effect on LDH, it was higher in 7-year-old horses ($P < 0.05$). The results observed in the present study indicate that physiological constants may vary according to the intensity of exercise and age of the animals; while serum enzyme concentrations can be altered by the origin and age of the animals.

Keywords: Equine, physiological constants, creatin kinase, lactate dehydrogenase.

RESUMEN

El trabajo de investigación se realizó con el objetivo evaluar las constantes fisiológicas y los perfiles enzimáticos en caballos altos andinos de carrera en tres estados de la actividad física (reposo, inmediatamente después del ejercicio y 6 horas post ejercicio - recuperación). El estudio se llevó a cabo en los distritos de Langui, Layo, Kunturkanki, Checca y Yanaoca de la Provincia de Canas, Cusco. Fueron incluidos en el estudio 30 caballos alto andinos de 4 a 8 años de edad, a los que se les evaluó la frecuencia cardíaca (FC) y frecuencia respiratoria (FR) en los tres estados de actividad física. Muestras sanguíneas también fueron tomadas en los mismos momentos para la determinación de las concentraciones séricas de las enzimas creatin kinasa (CK) y lactato deshidrogenasa (LDH) por espectrofotometría empleando la metodología específica para cada kit. Se determinó que tanto la FC como FR fueron afectadas por el momento de evaluación ($P < 0.05$), siendo superior aquellas observadas inmediatamente después del ejercicio (carrera), la edad de los animales no tuvo efecto ($P > 0.05$) sobre la FC, pero sí sobre la FR ($P < 0.05$) observándose un mayor número de respiraciones por minuto en los caballos de 8 años de edad; mientras que, la procedencia de los animales no afectó ($P > 0.05$) la FC y FR. Las concentraciones séricas de CK y LDH no fueron afectadas ($P > 0.05$) por el momento de evaluación; pero sí fueron afectadas significativamente ($P < 0.05$) por la procedencia de los animales siendo superiores las concentraciones séricas de CK en caballos de Langui; distinto a la LDH que fue superior ($P < 0.05$) en caballos de Kunturkanki y Yanaoca; finalmente el factor edad sólo tuvo efecto ($P < 0.05$) sobre la LDH que fue superior en caballos de 7 años. Los resultados observados indican que las constantes fisiológicas pueden variar según la intensidad de ejercicio y edad de los animales; mientras que las concentraciones séricas de las enzimas pueden ser alteradas según la procedencia y edad de los animales.

Palabras clave: Equino, constantes fisiológicas, creatin kinasa, lactato deshidrogenasa.

INTRODUCCIÓN

Los equinos gracias a la facilidad de su domesticación, coraje y nobleza, han desempeñado un papel crucial en la vida del hombre y de su historia en los últimos 5000 años (Sáenz, 2008). En la actualidad, han pasado de ser animales utilizados para el trabajo y la guerra a formar parte de competencias hípicas (Rodríguez, 2011) debido a su gran capacidad en las actividades atléticas, favorecida por la composición anatómica de su aparato locomotor, lo que le facilita tener un alto rendimiento sin importar la disciplina en la que se desempeñe (González y Naranjo 2015).

Los deportes ecuestres demandan una gran exigencia para los equinos, toda vez que su entrenamiento involucra una serie de cambios fisiológicos que le permitan un óptimo rendimiento con un mínimo riesgo de producir alguna lesión, sobre todo músculo-esquelética (Hinchcliff *et al.*, 2014). Ya durante la carrera la exigencia del sistema respiratorio, circulatorio y músculo-esquelético es máxima y adicionalmente puede ser afectada por la edad, sexo, actividad física y característica morfo-fisiológicas del animal, razones por las que un sobre entrenamiento puede atenuar el desempeño y producir fatiga muscular, incrementando las posibilidades de lesiones musculares (Loving, 2010).

Además del entrenamiento es importante la capacidad metabólica del animal para convertir energía química en energía mecánica. Proceso que es llevado a cabo en los músculos del animal, los cuales obtienen energía producto de la oxidación de glucosa que durante los primeros minutos de la carrera es anaeróbica y luego se soporta con una oxidación aeróbica (De Luca, 2005). La forma de obtención de energía dependerá principalmente de la intensidad y duración de la actividad física (Muriel, 2016), pudiendo la sobre exigencia muscular conllevar a un acumulo de ácido láctico producto del metabolismo celular anaeróbico que desencadenaría en fatiga muscular (De Luca, 2005)

Esta adaptación metabólica también se acompaña de una serie de ajustes fisiológicos durante el ejercicio, observándose en el equino un incremento en la frecuencia cardiaca en la misma proporción con que incrementa la velocidad con que corre el animal, hasta alcanzar un valor

máximo (Castejón, 2016) con el fin de brindar al músculo mayor flujo sanguíneo y con ello acarrear más oxígeno y nutrientes (Ponce, 1997). También se incrementa la frecuencia respiratoria como consecuencia de la necesidad de un mayor intercambio de gases y también debido la sincronía entre los movimientos respiratorios y el contacto de los miembros del animal con la horizontal del piso, por lo que una aceleración en el paso también conlleva una aceleración en los movimientos respiratorios (Ramzan, 2014).

La capacidad metabólica y la adaptabilidad del músculo al ejercicio pueden ser evaluados a través de perfiles enzimáticos (Cutmore et al., 1985), dado que durante la competencia y el entrenamiento físico de los caballos, las concentraciones de las enzimas musculares se incrementan como producto del metabolismo muscular (Guerrero y Portocarrero, 2008), entre ellas la creatin kinasa (CK) y lactato deshidrogenasa (LDH) que en la actualidad son utilizadas como herramientas de diagnóstico en la medicina deportiva durante el entrenamiento del equino (Barreto y Jimenez, 2005; Guerrero y Portocarrero, 2008).

Los criadores de caballos alto andinos de carrera no tienen un esquema estricto de entrenamiento, siendo éste realizado en algunas ocasiones solo unas cuantas semanas antes de un evento de competencias hípicas; además es de importancia considerar que por encima de los 3500msnm la presión parcial de oxígeno es bastante menor a la presente a nivel del mar; dos características que pueden conllevar a la producción de lesión muscular que no se ha reportado en caballos alto andinos, por tal razón se diseñó el presente trabajo de investigación, el cual tuvo por objetivo evaluar las constantes fisiológicas y los perfiles enzimáticos en caballos alto andinos de carrera en tres estados de la actividad física: reposo, al final del ejercicio y recuperación.

MATERIAL Y MÉTODOS

Lugar de estudio

El estudio se realizó durante el mes de agosto del 2019 en el departamento del Cusco, provincia de Canas, en las pistas hípcas donde se realiza las carreras, mencionadas a continuación:

- Langui ubicado a 3963 msnm en las coordenadas geográficas 14°26'33" latitud sur y 71°16'53" longitud oeste.
- Kunturkanki ubicado a 4105msnm en las coordenadas geográficas 14°37'42" latitud sur y 71°15'22" longitud oeste.
- Checca ubicado a 3975 msnm en las coordenadas geográficas 14°25'42" latitud sur y 71°05'42" longitud oeste.
- Layo ubicado a 4109 msnm en las coordenadas geográficas 14°30'18" latitud sur y 71°05'42" longitud oeste.
- Yanaoca ubicado a 3909 msnm en las coordenadas geográficas 14°13'26" latitud sur y 71°26'08" longitud oeste.

Las 5 pistas utilizadas en el estudio tuvieron características similares. Es importante destacar que 4 de ellas fueron pistas oficiales, las cuales son usadas para las carreras de caballos del distrito (Langui, Layo, Kunturkani, Yanaoca), mientras que la del distrito de Checca es utilizada por los propietarios de los caballos para su entrenamiento, esto debido a la lejanía entre el lugar de crianza de los caballos y la pista de carreras del distrito.

En todo los casos las pistas de carrera se encontraban en las partes donde la topografía natural fue plana, las pistas propiamente dichas tuvieron piso de tierra afirmada ligeramente preparados para mantener la homogeneidad del piso; en ninguno de los casos se contó con partidores para los caballos.

Animales

Para el presente estudio se utilizaron en total 30 equinos Alto andinos de carrera, criados a más de 3000 msnm, la edad de los animales fluctuó entre 4 a 8 años, se tomó en consideración ésta edad debido a que a los 4 años los equinos inician su participación en competencias hípcas y

tiene un rendimiento adecuado hasta los 8 años de edad. Todos los animales nacieron y se criaron en cada uno de los distritos citados de la provincia de Canas.

Manejo de los animales

Los caballos en todos los escenarios se encontraban manejados al “*pastoreo con estaca*” que para el caso del sistema de manejo de equinos en sistemas alto andinos significa sujetar al animal con una cuerda de 10 a 20 metros de longitud a un punto fijo de amarre especial, que en la Sierra Peruana suele ser una planta fuerte de *Chilligua (Festuca dolichophila)* o *Ichu (Stipa ichu)*, que cumple la función de una estaca, las praderas utilizadas estuvieron mayoritariamente conformadas por pastos naturales de la zona y en mínima proporción por pastos cultivados (*Trifolium repens* asociado a *Lolium multiflorum*), en la mayoría de los casos los caballos se encontraron en las áreas de pastoreo durante las 24 horas del día. El acceso al agua fue *ad libitum* aprovechando el agua de riachuelos y manantiales.

Metodología

Con una antelación de 7 días al día del muestreo fueron convocados los dueños de los caballos para que llevaran a sus animales a la pista de carreras. Con los caballos ya en el lugar de muestreo se procedió a realizar la toma de datos generales del propietario y de los animales. El examen clínico se enfocó en la evaluación de la frecuencia respiratoria y la frecuencia cardíaca, además se realizó la toma de muestras de sangre; todos los procedimientos se realizaron en tres momentos diferentes:

- ANTES: En todos los casos se realizado inmediatamente antes de someter los caballos a la prueba de carrera; la misma que se corrió en las pistas, teniendo como límite para todos los animales una distancia de 400 metros.
- DESPUÉS: En todos los casos se realizado inmediatamente después de la carrera, sin permitir un descanso para el animal.
- REPOSO: realizado 6 horas después de la carrera.

Realización de la carrera

Todos los caballos en el experimento corrieron en pistas locales que son utilizadas frecuentemente para la realización de los eventos hípicos (carreras), las cuales fueron terrenos afirmados de tierra sin mayor señalización.

En ninguno de los casos se realizó el calentamiento de los caballos previo a la prueba de carrera. Los caballos fueron conducidos al paso por su jinete hasta el punto de partida y una vez que se emitió la señal de partida, se dio inicio la carrera, la distancia que corrieron todos los animales fue de 400 metros lineales. Es probable que para algunos animales la exigencia no fuera máxima toda vez que los caballos corrieron individualmente; es decir, sin competidores. En la mayoría de los casos se cronometró el tiempo de recorrido, siendo éste en promedio 28.52 ± 1.88 segundos (promedio \pm DS) con un rango de 25 a 32 segundos.

Evaluación de la frecuencia cardiaca y frecuencia respiratoria

La evaluación de la frecuencia cardiaca se realizó a través de la auscultación con un estetoscopio, con la finalidad de determinar el número de latidos por minuto, la auscultación se realizó en la región precordial izquierda, entre el tercer y cuarto espacio intercostal siguiendo la metodología reportada por Arévalo *et al.* (2019).

La frecuencia respiratoria se evaluó a través de la observación del movimiento de la caja torácica y/o del abdomen, apreciando a cierta distancia (aproximadamente 3 metros) la región del tórax y/o la región del flanco del animal; cada expansión de la caja torácica o el abdomen fueron considerados como un evento respiratorio.

Evaluación de la frecuencia cardiaca y frecuencia respiratoria

La evaluación de la frecuencia cardiaca se realizó a través de la auscultación con un estetoscopio, con la finalidad de determinar el número de latidos por minuto, la auscultación se realizó en la región precordial izquierda, entre el tercer y cuarto espacio intercostal siguiendo la metodología reportada por Arévalo *et al.* (2019).

La frecuencia respiratoria se evaluó a través de la observación del movimiento de la caja torácica y/o del abdomen, apreciando a cierta distancia (aproximadamente 3 metros) la región del tórax

y/o la región del flanco del animal; cada expansión de la caja torácica o el abdomen fueron considerados como un evento respiratorio.

Toma de muestras

Las muestras de sangre fueron obtenidas por venopunción yugular, para ello se emplearon una aguja de vacutainer ® contenida en un soporte y un tubo al vacío sin anticoagulante; se realizó la antisepsia del área de punción con alcohol 96°, a continuación se insertó la aguja en ángulo de 45°, se colocó el tubo en el borde de la aguja expuesto y se colectó la muestra. Las muestras fueron preservadas en un cooler con hielo y fueron transportadas al laboratorio de la Estación Experimental IVITA – Maranganí, en un lapso no mayor a las 12 horas, ya en el laboratorio se centrifugaron las muestras a 4000RPM durante 20 minutos; el suero obtenido fue aspirado con pipetas de transferencia estériles y trasvasado a viales de 1.5mL y luego almacenado en congelación, finalmente las muestras fueron trasladadas hasta el laboratorio de Patología Clínica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Peruana Cayetano Heredia, donde se realizó la determinación de las concentraciones séricas de las enzimas creatin kinasa y lactato deshidrogenasa.

Tres muestras fueron tomadas a cada animal, correspondiendo cada una de ellas a los diferentes momentos de muestreo.

Análisis estadístico

Todos los datos fueron almacenados en una base de datos del programa Microsoft Office Excel, posteriormente fueron ordenados y procesados mediante el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System). De todas las variables en estudio, como son: niveles séricos de creatin kinasa, niveles séricos de lactato deshidrogenasa, frecuencia respiratoria y frecuencia cardíaca se obtuvieron el promedio y desviación estándar; para evaluar el efecto del momento de evaluación y la localidad o edad de procedencia de los animales sobre cada una de las variables de estudio, se utilizó un diseño de bloques completos al azar, cuyo modelo matemático es el siguiente:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + e_{ij}$$

Donde:

y_{ij} = Variable respuesta (frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, creatin kinasa, lactato deshidrogenasa)

μ = Efecto de la media poblacional

t_i = Efecto del i – ésimo tratamiento (momentos de evaluación)

β_j = Efecto del j – ésimo bloque (localidades o edades)

e_{ij} = Error experimental

La diferencia de medias se estimó utilizando el test de Tukey y el nivel de significancia utilizado fue $\alpha = 0.05$

Consideraciones éticas

En el presente estudio las consideraciones éticas están sustentadas en el consentimiento informado la cual se les brindo a los dueños de los equinos de la población, donde garantiza que no habrá ningún riesgo y daño de los equinos así mismo habrá confidencialidad de los datos recabados. Cabe mencionar que durante la recolección de muestras de los ejemplares no tuvieron ningún daño, la cual se tuvo en cuenta el bienestar de los animales durante el procedimiento. El estudio tuvo la aprobación del Comité Institucional de Ética de la Universidad Peruana Cayetano Heredia mediante la constancia 049 – 05 – 19.

RESULTADOS

Frecuencia cardíaca y frecuencia respiratoria de caballos Alto andinos de carrera

Los valores de las frecuencias cardíaca y respiratoria se muestran en la tabla 1. La frecuencia cardíaca valorada por el número de latidos cardiacos por minuto (LPM) fue similar antes de la carrera (47.03 ± 11.78 LPM) y durante el reposo (48.97 ± 8.21 LPM), pero fueron significativamente menores ($P < 0.05$) a la frecuencia cardíaca evaluada inmediatamente después de la carrera (89.30 ± 13.35 LPM). Respecto al lugar de origen de los caballos, no se observó diferencias estadísticas ($P > 0.05$) en el número de latidos cardiacos por minuto. La edad de los animales utilizados en el presente experimento no tuvo efecto sobre la frecuencia cardiaca, siendo similar estadísticamente ($P > 0.05$) entre los caballos de todas la edades.

Tabla 1. Frecuencias cardíaca (LPM) y respiratorias (RPM) de caballos alto andinos de diferente edad procedentes de diferentes distritos de la Provincia de Canas - Cusco evaluadas antes de la carrera, inmediatamente después de la carrera y en reposo.

Característica		n	Frecuencia cardíaca	Frecuencia respiratoria
Momento	Antes	30	47.03 ± 11.78^b	34.37 ± 7.73^b
	Después	30	89.30 ± 13.35^a	56.03 ± 7.49^a
	Reposo	30	48.97 ± 8.21^b	35.93 ± 6.39^b
Procedencia	Checca	21	57.76 ± 15.00^a	42.90 ± 11.57^a
	Kunturkanki	15	63.00 ± 26.12^a	41.67 ± 10.22^a
	Langui	30	64.00 ± 23.98^a	41.07 ± 14.26^a
	Layo	18	62.00 ± 26.92^a	42.78 ± 12.47^a
	Yanaoca	6	60.83 ± 18.78^a	43.67 ± 10.52^a
Edad	Cuatro	27	58.81 ± 23.1^a	42.78 ± 11.45^{ab}
	Cinco	21	62.67 ± 22.77^a	41.24 ± 13.34^b
	Seis	33	64.88 ± 23.91^a	40.79 ± 13.11^b
	Siete	6	53.83 ± 16.46^a	44.17 ± 7.57^{ab}
	Ocho	3	63.67 ± 15.31^a	52.67 ± 7.09^a
<i>P - value</i>	Momento		<.0001	<.0001
	Procedencia		0.4093	0.8561
	Edad		0.1089	0.0701

^{a, b} letras diferentes en la misma columna difieren significativamente ($P < 0.05$).

La frecuencia respiratoria, valorada por el número de respiraciones por minuto (RPM) fue similar antes de la carrera (34.37 ± 7.73 RPM) y en reposo (35.93 ± 6.39 RPM), pero ambos valores fueron significativamente menores ($P < 0.05$) a la frecuencia respiratoria evaluada inmediatamente después de la carrera (56.03 ± 7.49 RPM). El lugar de origen de los caballos, no tuvo efecto ($P > 0.05$) sobre en el número de respiraciones por minuto. Respecto de la edad de los animales, los caballos de 8 años de edad tuvieron la mayor frecuencia respiratoria (52.67 ± 7.09 RPM), seguidos por los caballos de siete y cuatro años (44.17 ± 7.57 RPM y 42.78 ± 11.45 RPM, respectivamente); mientras que las menores frecuencias respiratorias fueron observadas en los caballos de cinco y seis años.

Niveles séricos de creatin kinasa y lactato deshidrogenasa en caballos Alto andinos de carrera

Las concentraciones séricas de las enzimas creatin kinasa (CK) y lactato deshidrogenasa (LDH) se muestran en la tabla 2. Las concentraciones séricas de CK no fueron afectadas por el momento de evaluación, siendo similares ($P > 0.05$) antes de la carrera, inmediatamente después y durante el reposo. La procedencia de los animales si tuvo efecto significativo sobre las concentraciones séricas de CK, los mayores valores se observaron en caballos criados en el distrito de Langui (587.03 ± 514.78 UI/L) y una menor concentración se observó en caballos de los distritos de Layo, kunkturanki, Yanaoca y Checca (453.89 ± 258.93 UI/L, 404.27 ± 101.84 UI/L, 393.67 ± 87.22 UI/L, 263.33 ± 139.12 UI/L, respectivamente). Respecto de la edad, no se observó diferencia significativa ($P > 0.05$) en las concentraciones séricas de la enzima creatin kinasa. Sin embargo se puede apreciar que los animales de siete y ocho años de edad numéricamente tuvieron una menor concentración sérica de esta enzima.

Los niveles séricos de la enzima lactato deshidrogenasa (LDH) no variaron según el momento de evaluación respecto de la carrera, siendo los valores estadísticamente similares ($P > 0.05$) antes de la carrera (714.43 ± 190.57 UI/L), inmediatamente después de la carrera (750.33 ± 161.40 UI/L) y durante el reposo (691.13 ± 178.69 UI/L).

Tabla 2. Niveles séricos de creatin kinasa (CK) y lactato deshidrogenasa (LDH) de caballos alto andinos de diferente edad, procedentes de diferentes distritos de la Provincia de Canas – Cusco y que fueron evaluados antes de la carrera, inmediatamente después de la carrera y en reposo.

Característica		N	Creatin kinasa (UI/L)	Lactato deshidrogenasa (UI/L)
Momento	Antes	30	368.03 ± 214.37 ^a	714.43 ± 190.57 ^a
	Después	30	439.13 ± 305.21 ^a	750.33 ± 161.40 ^a
	Reposo	30	517.4 ± 468.50 ^a	691.13 ± 178.69 ^a
Procedencia	Checca	21	263.33 ± 139.12 ^b	659.14 ± 140.57 ^b
	Kunturkanki	15	404.27 ± 101.84 ^b	908.47 ± 147.29 ^a
	Langui	30	587.03 ± 514.78 ^a	668.77 ± 148.51 ^b
	Layo	18	453.89 ± 258.93 ^b	703.06 ± 175.54 ^b
	Yanaoca	6	393.67 ± 87.22 ^b	748.33 ± 212.83 ^{ab}
Edad	Cuatro	27	447.59 ± 205.2 ^a	685.52 ± 177.18 ^a
	Cinco	21	470.43 ± 487.34 ^a	723.00 ± 177.51 ^a
	Seis	33	466.73 ± 375.51 ^a	779.18 ± 173.08 ^a
	Siete	6	279.33 ± 90.43 ^a	551.33 ± 57.48 ^b
	Ocho	3	231.67 ± 59.53 ^a	654.67 ± 132.80 ^a
<i>P – value</i>	Momento		0.2217	0.3632
	Procedencia		0.0208	0.0001
	Edad		0.6085	0.0284

^{a, b} letras diferentes en la misma columna difieren significativamente ($P < 0.05$).

Según las procedencia de los animales se observó que los caballos procedentes del distrito de Kunturkanki tuvieron las concentraciones séricas más altas de la enzima lactato deshidrogenasa (908.47 ± 147.29 UI/L), seguidas muy de cerca por las concentraciones séricas de LDH de los caballos procedentes del distrito de Yanaoca (748.33 ± 212.83 UI/L) y las menores concentraciones séricas de LDH se observaron en los caballos procedentes de los distritos de Layo (703.06 ± 175.54 UI/L), Langui (668.77 ± 148.51 UI/L) y Checca (659.14 ± 140.57 UI/L). Finalmente; según la edad, los caballos de siete años tuvieron las concentraciones más bajas ($P < 0.05$) de la enzima LDH (551.33 ± 57.48 UI/L) en comparación a los animales de cuatro años de edad (685.52 ± 177.18 UI/L), cinco años de edad (723.00 ± 177.51 UI/L), seis años de edad (779.18 ± 173.08 UI/L) y ocho años de edad (654.67 ± 132.8 UI/L).

DISCUSIÓN

La edad de los equinos utilizados en el estudio fluctuó entre los 4 y 8 años de edad, ello debido a que eran los que se encontraban elegibles para la competición al momento de plantear el estudio; de otra parte, se encontró en función al particular manejo de los equinos en la región Altoandina, en la que los caballos inician su proceso de doma a la edad de 2 a 3 años, por ello inician su participación en las competencias hípicas por lo general a los 4 años de edad y según cuan bueno sea su desempeño, pueden permanecer activos hasta los 7 u 8 años de edad, ya que tienen un mejor rendimiento hasta dicha edad, tal como se apreció en el presente estudio, en el que la mayoría de animales tuvieron 4 a 5 años de edad y muy pocos 7 a 8 años de edad; razones por las que no se contó con un mismo número de animales por grupo etéreo.

La frecuencia cardíaca se observó incrementada significativamente en todos los animales después de la carrera. Este incremento se da como una respuesta fisiológica del organismo, en la que la disponibilidad de oxígeno en los tejidos ante el ejercicio hace necesario el incremento del gasto cardíaco y como tal incrementa la frecuencia cardíaca (FC) en proporción a la intensidad del ejercicio (Sandoval y Arias, 2008). Chicharro y Vaquero, (2006) mencionan que la FC puede verse afectada por el entrenamiento de los animales más que por la edad de los mismos. En el estudio, el incremento en la FC no fue afectado ($P > 0.05$) por la edad o procedencia de los animales, dado que todos ellos tienen sistemas de manejo y entrenamiento aparentemente similares.

La frecuencia cardíaca brinda una información fiable de la condición física de un caballo, ya que sus variaciones permiten saber cómo responde el animal ante una intensidad de carga de trabajo, monitorear el acondicionamiento físico, ejercicio y estudiar los efectos del ejercicio sobre el sistema cardiovascular (Cunningham, 2003).

En los animales clínicamente sanos, éste parámetro tiene un rango de 20 a 40 latidos por minuto durante el reposo; mientras que, durante el ejercicio asciende hasta alcanzar en algunas circunstancias 210 a 240 latidos por minuto (LPM), debiendo retornar a valores de 100 a 110

LPM después de 1 a 1.5 minutos posterior al ejercicio, claro indicativo de que el equino está respondiendo adecuadamente al entrenamiento (Herrera y Villegas, 2005); así mismo, si el ejercicio no es altamente exigente y el animal no desarrolla una máxima velocidad la frecuencia cardíaca volverá a su normalidad más pronto (Evans, 2000).

En el estudio, la frecuencia cardíaca observada en los caballos ascendió hasta valores promedio de 89.3 ± 13.35 LPM, superior al reporte de Mejía y Arias (2008) en caballos europeos, pura sangre inglés y criollos colombianos (62.16 - 66.63 LPM), y superior al reporte previo de Herrera y Villegas (2005) quienes encontraron un valor promedio de 85,16 LPM en caballos de varias razas, después del ejercicio; esta variabilidad respecto a los reportes previos podría ser debido a las diferencias en la exigencia al momento del ejercicio, piso altitudinal en el que se realizaron las carreras y también a la distancia que recorrieron los animales en cada una de sus pruebas, datos que no se indican en los reportes utilizados en la comparación; en este estudio los caballos corrieron 400 metros lineales, exigiéndoles un máximo esfuerzo físico durante un tiempo promedio de 30 segundo.

Los valores de la frecuencia cardíaca antes de la carrera (47.03 ± 11.78 LPM) y durante el reposo (48.97 ± 8.21 LPM), para caballos Alto andinos, son superiores a lo reportado por Mejia y Arias (2008), en el que observó 34.14 – 37.32 LPM en promedio antes del ejercicio y 32.65 – 37.67 LPM durante el reposo en caballos de diferentes razas. Respecto de los valores de la frecuencia cardíaca durante el reposo de los animales, los valores hallados también son superiores a los reportado por Herrera y Villegas (2005), quienes observaron que los animales tenían en promedio 33.41 LPM 8 horas después del ejercicio; tal vez, el tiempo que otorgaron para realizar la evaluación de la frecuencia cardíaca en éste último reporte hubiera podido permitir una mejor recuperación de los animales; sin embargo, cabe mencionar que éste último reporte es un promedio de muchas razas y de caballos de diferentes edades.

El incremento en la frecuencia respiratoria inmediatamente después de la carrera, observada en todos los equinos sería una consecuencia de que estos animales requieren oxigenar más rápido su organismo (Ramzan, 2014; Guerrero *et al.*, 2009).

Se considera que la frecuencia respiratoria normal en equinos es de 8 a 16 respiraciones por minuto, la misma que puede triplicarse cuando el animal realiza ejercicio (Scott y Martín, 2016), ello es debido a que durante el ejercicio la capacidad de consumo de oxígeno se incrementa hasta en 35 veces, respecto de los valores durante el reposo (Engelhardt, 1977), para el caso de los caballos del estudio la frecuencia respiratoria antes de la carrera fue de 34.37 ± 7.73 RPM, valor que supera el parámetro normal, una razón podría ser la baja disponibilidad de oxígeno en el medio ambiente que hace que bajo condiciones de altura los equinos incrementen su frecuencia respiratoria.

La frecuencia respiratoria observada en el presente experimento, antes de que los caballos realicen las carreras (34.37 ± 7.73 RPM) y aquella observada durante el reposo (35.93 ± 6.39 RPM), son mayores a los reportados por Mejía y Arias (2008) para caballos europeos, criollos colombianos y Pura Sangre Inglés que tienen valores entre 10.71 y 13.25 RPM antes del ejercicio y entre 11.04 a 12.45 RPM durante el reposo, también son superiores a lo reportado por Herrera y Villegas (2005), para caballos en reposo que tuvieron en promedio una frecuencia respiratoria de 14.5 RPM; de similar manera, inmediatamente después de la carrera la frecuencia respiratoria observada en el estudio (56.03 ± 7.49 RPM) fue superior a la reportada por Mejía y Arias (2008) para caballos europeos, criollos Colombianos y Pura Sangre Inglés. Esto puede ser debido a las diferencias en la exigencia en el ejercicio, tipo de ejercicio y disponibilidad de oxígeno y también a la distancia que recorrieron los animales en cada una de sus pruebas; puesto que, la capacidad de uso del oxígeno por parte del equino está estrechamente relacionada con la capacidad de realizar ejercicio (Castejón, 2016)

En equinos en condiciones normales las concentraciones séricas de creatin kinasa (CK) oscilan entre 60 a 330 UI/L (Rose y Hodgson, 2000), el incremento en las concentraciones séricas de la enzima se debe a ejercicios extenuantes y exigentes; puesto que, cuando los ejercicios son ligeros las concentraciones séricas de la CK no muestran cambios significativos (Reed *et al.*, 2017). En el estudio las concentraciones séricas de CK no fueron significativamente afectadas ($P > 0.05$) por el ejercicio realizado; sin embargo, fueron superiores a los valores reportados como normales

en equinos con 368.03 ± 214.37 UI/L antes del ejercicio, 439.13 ± 305.21 UI/L inmediatamente después del ejercicio y 517.40 ± 468.50 UI/L a las 6 horas después del ejercicio, momento considerado como reposo.

Si bien es cierto, las concentraciones séricas de la enzima muestran un incremento numérico en sus concentraciones desde antes del ejercicio hasta el momento del reposo, ello sería debido a que la CK alcanza su máximo nivel sérico entre 6 y 12 horas después del ejercicio y retorna a sus valores normales entre 24 a 48 h después del ejercicio, cuando la lesión no es progresiva sino esporádica (Reed *et al.*, 2017), cuando los valores de la CK descienden rápidamente, significa que la recuperación del desgaste muscular del equino ocurre de forma rápida; si el descenso a valores normales es más lento indicaría que el animal requiere un mayor tiempo de recuperación; además es de importancia considerar que las concentraciones séricas de la CK se incrementan como consecuencia de la mayor velocidad y una mejor uniformidad del trote más que por la distancia que recorre el animal (Hinchcliff *et al.*, 2013).

La similitud estadística en las concentraciones séricas de creatin kinasa (CK) observadas en el presente estudio en los diferentes momentos respecto de la carrera, también fueron observados por Mejía y Arías (2008); con la diferencia de que en el presente estudio las concentraciones séricas de CK observadas fueron superiores a las que observaron Mejía y Arias (2008), quienes reportan concentraciones séricas de 249.02-184.77 UI/L en caballos de raza Europea, 350.95-286.70 UI/L en caballos criollos Colombianos y 314.39-250.14 UI/L en caballos Pura Sangre Inglés.

Según el lugar de procedencia de los animales en el presente estudio, se observó que los caballos pertenecientes al distrito de Langui, tuvieron las mayores concentraciones séricas de creatin kinasa (CK) con valores de 587.03 ± 514.78 UI/L, seguido por las concentraciones séricas de caballos pertenecientes a los distritos de Layo (453.89 ± 258.93), Kunturkanki (404.27 ± 101.84 UI/L), Yanaoca (393.67 ± 87.22 UI/L) y Checca (263.33 ± 139.12 UI/L), no hay un reporte previo que indique un efecto del lugar de procedencia sobre las concentraciones séricas de la CK; sin embargo, se podría asumir en el presente estudio que esta diferencia observada podría ser efecto

del nivel de entrenamiento de los animales y las condiciones físicas observadas en los caballos al momento de realizar el estudio, tal como lo refiere Hinchcliff *et al.* (2013); puesto que, fue apreciable que los caballos de los distritos en los que se observaron las menores concentraciones de esta enzima tuvieron una mejor adaptabilidad o rendimiento al ejercicio, ya que los 400 metros no fue suficiente para inducir un mayor aumento de dicha enzima (Arias *et al.*, 2004). Para la variable edad del animal, no se observó diferencias en las concentraciones séricas de CK, lo que indicaría que tanto en los animales jóvenes (4 años de edad) como en aquellos ya un tanto mayores (8 años de edad), la demanda de esfuerzo ocasionada por el ejercicio no generaría diferencias en el uso de energía.

La enzima lactato deshidrogenasa (LDH), es una enzima oxidoreductasa cuya función es la catálisis, en la que el piruvato es reducido a lactato gracias a la oxidación de NADH a NAD, lo que le permite a la célula obtener energía, esta sería una forma en la que el equino obtiene rápidamente energía a través de la generación de moléculas de ATP; así mismo, ésta enzima LDH durante el metabolismo energético anaerobio reduce el piruvato para producir o generar NAD, molécula que durante la glucólisis es el sustrato limitante (Guerrero y Portocarrero, 2008).

Ante la destrucción de los tejidos, como el sistema musculo - esquelético, genera que esta enzima pase a torrente sanguíneo donde puede ser detectada; sin embargo, la elevación en el suero es un signo inespecífico de que un órgano o tejido ha sido dañado. (Guerrero y Portocarrero, 2008), a pesar de que se haya indicado que sus niveles séricos se pueden incrementar como resultado de daño hepático o muscular (Hinchcliff *et al.*, 2008) y específicamente en el equino, en el cual se ha señalado que la musculatura de esta especie reduce su permeabilidad para liberar esta enzima en respuesta al ejercicio (Collao, 2011), estas serían algunas de las razones porque las concentraciones séricas de ésta enzima no son afectas por el momento en el que son evaluadas, siendo estadísticamente similares al momento del reposo como inmediatamente después del ejercicio.

Respecto del lugar de procedencia, una mayor concentración sérica de LDH se observó en caballos pertenecientes al distrito de Kunturkanki en comparación a los animales de los otros

distritos evaluados en el presente estudio, a la fecha no existen reportes sobre un efecto de la localización de los animales sobre las concentraciones séricas de esta enzima; sin embargo, es de importancia indicar que en el presente estudio los caballos del distrito en mención tuvieron una mayor velocidad, por ende tuvieron un mayor esfuerzo y mayor aceleración inicial, ocasionando daño muscular, lo que habría conllevado a un incremento de LDH en el plasma (Guerrero y Portocarrero, 2008).

Cabe mencionar que en todos los casos las concentraciones de la enzima LDH evaluada en todos los animales del presente estudio son superiores a las 112 – 456 UI/L reportada para esta especie por Rose y Hodgson (2000) y a las 417.68 ± 150.77 UI/L reportada en equinos durante el periodo de reposo y 457.16 ± 175.98 UI/L observada al momento de la recuperación por Guerrero y Portocarrero (2008), lo que haría suponer que las especiales condiciones climáticas, sobre todo una insuficiente disponibilidad de oxígeno en las zonas altas (altura mayor a 3800msnm) en la que se encontraron los animales del presente estudio los conllevaría a tener altos niveles de esta enzima en su torrente sanguíneo; sin embargo, es un aspecto que requiere ser investigado a mayor profundidad.

CONCLUSIONES

- El momento de evaluación tiene efecto significativo ($P < 0.05$) sobre las constantes fisiológicas frecuencia cardíaca y frecuencia respiratoria de los caballos alto andinos; la procedencia de los animales no tiene efecto significativo ($P > 0.05$) sobre las frecuencias cardíaca y respiratoria y la edad del animal sólo afecta ($P < 0.05$) la frecuencia respiratoria.
- No existe diferencia significativa entre los valores de las enzimas musculares antes, inmediatamente después de la carrera y en reposo. La edad de los animales solo tuvo efecto ($P < 0.05$) sobre las concentraciones séricas de la enzima lactato deshidrogenasa (LDH) más no sobre la enzima creatin kinasa (CK); mientras que, la procedencia de los animales si tuvo efecto significativo ($P < 0.05$) sobre las concentraciones séricas de CK y LDH
- Las concentraciones séricas de las enzimas lactato deshidrogenasa y creatin kinasa determinadas en caballos Altoandinos de la región del Cusco son superiores a las concentraciones séricas de ambas enzimas reportadas como normales para equinos ubicados en latitud y altitud diferentes.

BIBLIOGRAFÍA

- Arias, L. F., Mejía, N., Sánchez, C., Peláez, C., & Marquez, A. C. (2004). Actividad de la aspartato aminotransferasa y la creatinquinasa y su relación con la actividad de la glutatión peroxidasa en caballos Pura Sangre Inglés, antes y después de una carrera de 1100 metros. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 17(2), 134-140.
- Baird, M.F, Graham, S.M., Baker, J.S., & Bickerstaff, G.F. (2012). Creatin-Kinase and exercise – related muscle damage implications for muscle performance and recovery. *J Nutr Metab* 960363: 1 – 13.
- Barreto, C. A. M., y Jimenez, T. E. P. (2005). Determinación y análisis de valores de nitrógeno ureico en sangre (bun), glucosa, creatin kinasa (ck) y ácido láctico pre y post ejercicio en una población de atletas equinos de salto en Bogotá, DC. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 6(2), 1-28.
- Castejón, F. (2016). La fisiología del ejercicio en el caballo. Revisión histórica, actualidad y perspectivas de futuro.
- Chicharro, J. L., y Vaquero, A. F. (2006). *Fisiología del ejercicio/Physiology of Exercise*. Ed. Médica Panamericana.
- Collao, J., *et al.* (2011). Efectos del ejercicio sobre la cinética de la serie eritrocítica y de las enzimas musculares en caballos pura sangre de carrera de dos años de edad del Hipódromo de Monterrico. (Tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Marcos, Lima, Perú. (pp. 58).
- Cutmore, C. M. M., Snow, D. H., y Newsholme, E. A. (1985). Activities of key enzymes of aerobic and anaerobic metabolism in middle gluteal muscle from trained and untrained horses. *Equine veterinary journal*, 17(5), 354-356
- Cunningham, J. G. (2003). *Fisiología veterinaria* (5ª. ed). Virginia, EE.UU: Elsevier. (pp. 200 – 211).
- De Luca, L. (2005). Fisiología del ejercicio.). [Internet]. [acceso 04 octubre 2019]. Disponible en: http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_equinos/produccion_equina_en_general/41-fisiologia_del_ejercicio.pdf.

- Engelhardt, W. V. (1977). Cardiovascular effects of exercise and training in horses. *Adv. Vet. Sci. Comp. Med.*, 21, 173-205.
- Evans, D. L. (2000). *Training and Fitness in Athletic Horses: A Report for the Rural Industries Research and Development Corporation; RIRDC Project No. US-77a. RIDC.*
- García Cabrera, L., Rodríguez Reyes, O., & Rodríguez Carballosa, O. B. (2011). Regulación de la respiración: organización morfofuncional de su sistema de control. *Medisan*, 15(4), 558-567.
- González, D., y Naranjo Santander, T. (2015). Evaluación de lactato sistémico y CK en caballos sometidos a diferentes tipos de ejercicio. [Tesis de pre grado]. Universidad de las Américas, Quito, Ecuador. (pp. 107)
- Guerrero Nieto, P. A., y Portocarrero Aya, L. (2008). Determinación de lactato deshidrogenasa, creatinquinasa y ácido láctico en equinos de salto en la sabana de Bogotá.
- Herrera Diaz, A. M., y Villegas Montaña, M. M. (2005). Influencia de la coenzima® y el ubiquinon compositum® sobre el ácido láctico, la frecuencia cardíaca y respiratoria en equinos pre post ejercicio en Bogotá.
- Hinchcliff, K. W., Kaneps, A. J., y Geor, R. J. (Eds.). (2008). *Equine exercise physiology: the science of exercise in the athletic horse.* Elsevier Health Sciences.
- Hinchcliff, K. W., Kaneps, A. J., y Geor, R. J. (2013). *Equine Sports Medicine and Surgery E-Book: Basic and clinical sciences of the equine athlete.* Elsevier Health Sciences.
- Hinchcliff K, Kaneps A, Geor R. (2014). *Equine sport medicine and surgery: Basic and clinical sciences of the equine athlete.* Ed. Elseiver. (pp. 1083).
- Hodgson, D. R., McGowan, C. M., & McKeever, K. (2013). *The athletic horse: principles and practice of equine sports medicine.* Elsevier Health Sciences.
- Loving, NS. (2010) *Todos los sistemas del caballo-tratado completo de la salud y cuidados veterinarios equinos* Barcelona, Hispano Europea, 620p.
- Mejía, G., y Arias, M. (2008). Evaluation of jumping horses physical condition through some physiological variables. *Rev. CES Medicina Veterinaria y Zootecnia. Colombia.* (Citado el 14 de octubre del 2019). Disponible en: <http://revistas.ces.edu.co/index.php/mvz/article/view/286/1932>
- Muriel, M. (2016). Determinación de la cinética del daño en el ADN de leucocitos de sangre periférica en equinos sometidos a esfuerzo físico de alta intensidad (Doctor en Ciencias Veterinarias). Universidad de Ciencias Veterinarias Departamento de clínicas, Buenos Aires, Argentina. (pp. 246).
- Ponce, J., Álvarez, F., Martín, J., & Rodríguez, L. P. (1997). Relación entre frecuencia cardíaca y lactato sanguíneo durante el periodo de recuperación del ejercicio aerobio-anaerobio de corta duración. *European Journal of Human Movement*, (3), 33-43.
- Ramzan, P. H. (2014). *The racehorse: A veterinary manual.* CRC Press

- Reed, S. M., Bayly, W. M., y Sellon, D. C. (2017). Equine Internal Medicine-E-Book. Elsevier Health Sciences.
- Rodríguez, J. (2011). Cría y comercialización de caballos sangre pura de carrera en Estados Unidos. [Tesis de pre grado]. Argentina: Pontificia Universidad Católica Argentina (UCA). (pp. 54).
- Rose, R. F y Hodgson, D.R. Manual of Equine Practice. 2000. p 585.
- Sáenz García, A. A. (2008). Zootecnia equina: Apuntes de clases sobre el caballo (Documento de estudio para estudiantes de Ingeniería en Zootecnia).
- Sandoval, G. M., y 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.
- Scott, B. y Martín, M. (2016). Entendiendo los signos vitales de vida en caballos