

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias de la Salud

**RESPUESTA ÁCIDO BÁSICA Y ELECTROLÍTICA EN EQUINOS
SOMETIDOS A EJERCICIO DE ENDURO EN ECUADOR**

Artículo académico

Daniela Moreno Cordovez

Medicina Veterinaria

Trabajo de titulación presentado como requisito
para la obtención del título de Médico Veterinario

Quito, 4 de julio de 2018

Universidad San Francisco de Quito USFQ

Colegio Ciencias de la salud

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**RESPUESTA ÁCIDO BÁSICA Y ELECTROLÍTICA EN EQUINOS SOMETIDOS A
EJERCICIO DE ENDURO EN ECUADOR**

Daniela Moreno Cordovez

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Juan Sebastián Galecio Naranjo, MV.,
MSc.

Firma del profesor

Quito, 4 de julio de 2018

Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante:

Nombres y apellidos:

Daniela Moreno Cordovez

Código:

00112790

Cédula de Identidad:

1715731368

Lugar y fecha:

Quito, julio de 2018

RESUMEN

En Ecuador el endurance es una disciplina sumamente nueva que poco a poco ha ido creciendo. Sin embargo, no existen estudios que involucren la fisiología deportiva en el país. En otros países se han realizado estudios similares a este (Rose, Arnold, Church y Paris, 1980). Sin embargo, las condiciones de las carreras descritas son muy diferentes a las que tenemos en Ecuador. Estos estudios han descrito los desbalances electrolíticos y ácido base como uno de los principales problemas que presentan los equinos de endurance. A nivel mundial las principales causas de eliminación descritas desde el año 2007 hasta la actualidad, son por claudicaciones y por condiciones metabólicas, alcanzando porcentajes de hasta 30% (FEI, 2018). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es analizar el efecto de una carrera de endurance de 81km sobre el estado electrolítico y ácido básico en equinos de enduro en Ecuador. En este estudio participaron 8 equinos de la categoría de 81km de la disciplina de endurance. La temperatura ambiental el día de la carrera permaneció en un rango de 6-12°C y con una humedad relativa del 20%. A todos los equinos se les realizó una evaluación veterinaria, en la que se evaluó: Frecuencia cardíaca, membranas mucosas, tiempo de llenado capilar, retorno del pliegue cutáneo, motilidad, respiración, tono muscular, andares y apariencia general (FEI, 2018). Durante la carrera de 81km se realizaron 4 controles veterinarios en los que se evaluaron todos los parámetros establecidos por la Federación Equestre Internacional (2018). La obtención de las muestras se realizó en 4 instancias, la primera fue una medición basal, que se obtuvo antes de comenzar la carrera y posteriormente se obtuvo una muestra al concluir cada una de las 3 etapas, es decir a los 34km, 61km y 81km. De las muestras obtenidas se determinó: hematocrito, proteínas totales, sodio, potasio, cloro, calcio iónico, magnesio, albumina y bicarbonato. El bicarbonato presentó un incremento de un 9,1% a los 34km con relación a su valor basal ($28,9 \pm 0,7$ mmol/L) ($P < 0,05$). A partir de los 61km se observó una disminución de las concentraciones de calcio iónico ($1,3 \pm 0,05$ mmol/L) de un 8,5% con respecto a su valor basal. Por último, a los 81km las concentraciones de cloro disminuyeron en un 7,03% con respecto a su valor basal ($102,7 \pm 2,9$ mmol/L) ($P < 0,05$). Con el presente estudio se determinó que los equinos compitiendo en una carrera de endurance de 81km, con una temperatura ambiental de 6-12°C y una humedad relativa del 20% en Ecuador, presentaron en primera instancia una alcalosis metabólica que se mantuvo durante los 81km de carrera. La alcalosis metabólica se desde los 34km debido a un incremento en las concentraciones plasmáticas de bicarbonato, lo cual conllevó a que los equinos desarrollaran una hipocalcemia moderada desde los 61km hasta el final de la competencia. De la misma manera a los 81km los equinos presentaron alteraciones en el anión GAP, el SID y una hipocloremia leve como consecuencia de pérdida de minerales a través de la sudoración.

Palabras claves: endurance, equinos, electrolitos, balance ácido básico, ejercicio.

ABSTRACT

In Ecuador, endurance is a new discipline that has been growing overtime. However, the sport has room for improvement and currently there are no studies involving sports physiology in the country. In other countries, similar studies have been conducted (Rose, Arnold, Church y Paris, 1980). However, the conditions of the races described are very different from those in Ecuador. These studies have described electrolyte and acid base disorders as the main problem presented by equines during endurance races. Worldwide, the main causes of elimination described from 2007 to date, are due to irregular gait and metabolic conditions reaching percentages of up to 30% (FEI, 2018). Therefore, the objective of this study is to analyze the effect of an 81km race on the electrolyte and acid base status in endurance equines in Ecuador. This study was performed on 8 equines that were part of the 81km category of the endurance discipline. The environmental temperature on race day remained between 6-12°C with a 20% relative humidity. All the equines were evaluated by a veterinarian, who assessed: heart rate, mucous membranes, capillary refill time, skin fold return, motility, respiration, muscle tone, gait and general appearance (FEI, 2018). During the race, 4 veterinary controls were carried out in which all the parameters established by the International Equestrian Federation (2018) were evaluated. Samples were obtained in 4 instances. The first was a baseline measurement, which was obtained before the race began and a sample was subsequently obtained at the end of each of the 3 stages (34km, 61km and 81km). From the samples obtained hematocrit, total proteins, sodium, potassium, chloride, ionic calcium, magnesium, albumin, and bicarbonate were determined. Bicarbonate showed an increase of 9.1% at 34km in relation to its baseline value ($28.9 \pm 0.7 \text{ mmol / L}$) ($P < 0.05$) and the concentrations remained stable until the end of the race. At 61km, equines presented a decrease of ionic calcium concentrations of 8.5% ($1.3 \pm 0.05 \text{ mmol / L}$). Finally, at 81km chlorine concentrations decreased by 7.03% with respect to its baseline value ($102.7 \pm 2.9 \text{ mmol / L}$) ($P < 0.05$). With the present study it was determined that equines competing in an 81km endurance race, with an ambient temperature of 6-12°C and a relative humidity of 20% in Ecuador, presented in the first instance a metabolic alkalosis that was maintained during the 81km of competition. Metabolic alkalosis occurred at 34km due to an increase in plasma bicarbonate concentrations, which led to equines developing a moderate hypocalcemia at 61km until the end of the competition. In the same way, at 81km equines presented changes in GAP anion, SID and mild hypochloremia as a result of mineral loss through sweating.

Key words: endurance, equines, electrolytes, acid base balance, exercise

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS	8
INTRODUCCIÓN	9
MATERIALES Y MÉTODOS	13
Animales	13
Pista	13
Condiciones climáticas	14
Evaluación veterinaria	14
Control veterinario	17
Obtención de muestras sanguíneas	18
Procesamiento y métodos analíticos de las muestras sanguíneas	19
Lactato	19
Hematocrito y proteínas totales.	19
Electrolitos.	20
Albumina	20
Análisis de datos	20
Velocidad media.	20
Determinación de Anión Gap, iones fuertes y débiles.	21
Análisis estadístico	21
RESULTADOS	23
Evaluación veterinaria	23
Hematocrito	24
Albumina	25
Electrolitos	25
DISCUSIÓN	29
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla # 1. Tiempo de recuperación y velocidad media de los binomios compitiendo una carrera de endurance de 81km (n=8).	23
Tabla # 2. Resultados obtenidos en las evaluaciones veterinarias de equinos compitiendo en una carrera de endurance de 81km (n=8).	24
Tabla # 3. Concentración promedio (\pmDE) de Calcio iónico, Cloro, Potasio, Magnesio y Sodio durante una carrera de endurance de 81km (n=8).	27
Tabla # 4. Concentraciones promedio (\pmDE) de lactato, anión GAP, SID y A- durante una carrera de endurance de 81km (n=8).	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura # 1. Efecto de una carrera de endurance de 81km sobre el hematocrito en equinos (n=8).	25
Figura # 2. Efecto de una carrera de endurance de 81km sobre las concentraciones séricas de albumina en equinos (n=8).	25
Figura # 3. Efecto de una carrera de endurance de 81 km sobre la concentración de bicarbonato en equinos (n=8).	27

INTRODUCCIÓN

El Endurance es una disciplina ecuestre que consiste en carreras de larga distancia sobre terrenos variados. Estas son carreras que van desde los 40km hasta 160km, en las cuales la velocidad y resistencia de los equinos y su recuperación física son factores sustanciales para competir en este tipo de disciplina. El enduro en equinos se inició en Estados Unidos muchos años atrás, en donde la caballería estadounidense para probar y preparar a sus caballos, decidió realizar competencias de 483km en cinco días y cada caballo debía cargar 91kg. Sin embargo, no se estableció como un deporte competitivo hasta el año 1950, cuando Robie Wendell creó la carrera “Pony Express”, la cual consistió en cruzar desde Nevada hasta California en menos de 24 horas (Fédération Équestre Internationale, 2018). En el 2007 el endurance se incorporó como disciplina en la Federación Ecuéstre Internacional (FEI), desde entonces hasta la actualidad, la disciplina ha crecido en un 91% en cuanto al número de eventos internacionales y en un 62% en la cantidad de jinetes registrados a nivel mundial. Actualmente se realizan 890 eventos internacionales en 50 diferentes países y existen 13,590 equinos registrados. Es por esto que cada vez se le ha dado más importancia y se han ido estudiando diferentes factores que se ven involucrados dentro de esta disciplina, ya que, al ser carreras de alta exigencia para los equinos, se han ido estableciendo parámetros de cuidados para evitar sobreesfuerzos y riesgos de salud de los mismos (Fédération Équestre Internationale, 2018).

En ejercicios prolongados se ha descrito como principal problema a los desórdenes electrolíticos y ácido base. En estudios previos se ha determinado pérdidas electrolíticas sustanciales las cuales son atribuidas principalmente a la sudoración,

temperatura ambiental y al terreno (Rose, Arnold, Church y Paris, 1980). Las principales causas de eliminación descritas a nivel mundial desde el año 2007 hasta la actualidad, son por claudicaciones y por condiciones metabólicas alcanzando porcentajes de hasta 30% (Fédération Équestre Internationale, 2018). En Ecuador en el año 2016 hubo un porcentaje de eliminados por problemas metabólicos del 8,12%, en el año 2017 del 4,75% y en lo que va del año 2018 un 4,39% (Endurance Ecuador, 2018).

Aproximadamente el 70-80% de la energía producida por el ejercicio es eliminada en forma de calor para evitar un incremento de la temperatura corporal. Los principales mecanismos de disipación de calor que utiliza es organismo son la sudoración, que ocupa alrededor de un 65% del proceso y la evaporación por medio de la respiración (25%). A través de la sudoración se pierde principalmente agua desde el compartimiento extracelular, resultando en una disminución del volumen sanguíneo, el cual si no es corregido puede resultar en un proceso de deshidratación. En la sudoración también se pierde gran cantidad de electrolitos, debido a que el sudor del equino es hipertónico en relación al plasma. Los electrolitos que principalmente se pierden por esta vía son el cloro, sodio, potasio. Por lo tanto, una sudoración prolongada puede causar deficiencias electrolíticas (Muñoz, Riber, Trigo y Castejón, 2010). Estas modificaciones resultan en cambios significativos en la homeostasis interna del organismo, por lo tanto, se activan una serie de procesos para contrarrestar estos desbalances.

Esta disciplina involucra un ejercicio aerobio de larga duración. En el cual el cuerpo responde por medio de una serie de cambios fisiológicos integrados a nivel de diferentes sistemas debido a las demandas del organismo. Estas alteraciones afectan la

homeostasis en casi todos los sistemas incluyendo, cambios en el metabolismo energético, electrolítico y ácido básico. Estos cambios pueden muchas veces comprometer el desempeño de los animales e incluso pueden llegar a perjudicar su bienestar (Barton, Williamson, Jacks, y Norton, 2003).

Tanto los desbalances electrolíticos como ácido básicos tienen una influencia importante sobre el desempeño de los equinos. En el estudio realizado por Muñoz, Riber, Trigo y Castejón (2010) en el cual evaluaron 44 equinos en 2 tipos de competencias de endurance: una de 91km en 1 día (n=29) y otra de 166km en 2 días (n=15) hubo un número de eliminados por causas metabólicas de 14 equinos. Lo que implica que un 31,8% de los equinos participantes en el estudio fueron descalificados. Es por esto que este es un tema que cada vez tiene más relevancia dentro de la disciplina, lo que ha dado paso a la realización de diferentes estudios con el fin de mejorar el rendimiento de los equinos en ejercicios prolongados y prevenir desbalances electrolíticos que pueden condicionar trastornos metabólicos que puedan afectar su rendimiento o su bienestar.

En Ecuador el endurance es una disciplina sumamente nueva, ya que llegó al país en el 2008, hace cuatro años se realizó la primera carrera internacional, en donde por primera vez los binomios corrieron 120 kilómetros. Poco a poco la disciplina ha ido creciendo y los equinos han mejorado su rendimiento, pero hay muchas cosas por mejorar. Actualmente no hay estudios que involucren la fisiología deportiva en el país. El único estudio realizado en relación a este tema es la "Evaluación de lactato sistémico y CK en caballos sometidos a diferentes tipos de ejercicio" (Gonzales y Naranjo, 2015), en el cual, participaron dos equinos de la disciplina de endurance. Estos fueron expuestos a una competencia de 80km y reporta incrementos

significativos en lactato, teniendo en cuenta que el valor máximo obtenido fue de 3,6mmol/L.

En otros países se han realizado estudios similares a este. Sin embargo, las condiciones de las carreras descritas son muy diferentes a las que tenemos en Ecuador, por lo que este trabajo será muy beneficioso para el desarrollo positivo de la disciplina en el país. El objetivo de este trabajo es analizar el efecto de una carrera de endurance de 81km sobre el estado electrolítico y ácido básico en equinos de enduro en Ecuador, para de esta manera prevenir desbalances metabólicos durante carreras prolongadas y ser más competitivos a nivel mundial.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo el manejo animal se realizó de acuerdo a las Normas para el Uso de Animales en la experimentación del Comité de Bioética en la Investigación con Animales de la Universidad San Francisco de Quito aprobado mediante oficio # 2017-012.

Animales

Este trabajo se realizó con 8 equinos que pertenecen a la disciplina de Endurance en Ecuador dentro de la categoría de 81km en la competencia del 17 de marzo del 2018, realizada en la localidad de Mulaló a un rango de altura de 2880 msnm a 3270 msnm. Los animales compitiendo en esta categoría se encuentran en un rango de edades de 7-16 años, siendo las razas predominantes árabes y anglo árabes con un rango de peso estimado entre los 450-550kg.

Pista

La pista recorre la parroquia rural de Mulaló a una altura que varía entre 2880 msnm y 3270msnm, sobre una superficie arenosa con pocas piedras. La pista establecida para los corredores fue de tres vueltas con diferentes distancias (34km, 27km, 20km) alcanzando una distancia acumulada de 81km.

La primera vuelta tuvo una distancia de 34km de los cuales 31,28km fueron pendiente. La superficie fue mayormente de tierra compactada con zonas de arena y ripio y un porcentaje mínimo de adoquín. En esta vuelta la altura mínima fue de 2975msnm y la altura máxima alcanzada fue de 3240msnm.

La segunda vuelta fue de 27km igualmente con una superficie en el cual predominaba la tierra compactada, con pocas zonas de arena y ripio y 1% de adoquín.

El rango de altura es el mismo que en la primera vuelta de 2975 a 3240msnm. De los 27km recorridos 25,11km fueron pendiente.

La última vuelta tuvo un recorrido de 20km y contó con una superficie muy similar a las vueltas anteriores, en este caso con 19km de pendiente y con un rango de altura entre los 3040 a 3270msnm.

Condiciones climáticas

La temperatura durante el día de la carrera varió entre 6-12 °C mayormente con una humedad relativa del 20%. A las 08:45 y 09:00 que fue la largada de los binomios de 81km la temperatura era de 6°C, humedad relativa de 20%, un 58% de nubes y viento de 2mph. Al medio día la temperatura incrementó a 7°C, humedad relativa de 24%, el porcentaje de nubes disminuyó a 20% y el viento se mantuvo en 2mph. A las 15:00hrs que fue más o menos a la hora que todos los binomios concluyeron la carrera la temperatura aumentó a 12°C, humedad relativa del 21%, 38% de nubes y un viento de 3mph (World Weather Online, 2018).

Evaluación veterinaria

En el control veterinario o vet check se evaluaron todos los parámetros establecidos en el reglamento de la Federación Ecuéstre Internacional (FEI), los cuales son: la frecuencia cardiaca, respiración, índice de recuperación cardiaca, membranas mucosas, tiempo de llenado capilar, retorno del pliegue cutáneo, motilidad intestinal, tono muscular, andares y apariencia general.

Todos estos parámetros son establecidos por la FEI y tienen un modo específico de calificación para tratar de que la evaluación sea lo más objetiva posible.

Equinos con frecuencia cardiaca que superen los parámetros definidos (64 lat./min) no podrán continuar con la carrera. Cualquier sonido cardiaco anormal debe ser registrado. Cuando un caballo es eliminado de la carrera por frecuencia cardiaca es importante que un segundo veterinario verifique que esta supere los 64 lat./min.

Anormalidades en la frecuencia respiratoria o en el carácter de la respiración que el veterinario de línea considere que podrían poner en riesgo la salud del animal no podrán continuar a la siguiente fase y serán eliminados. Este parámetro es calificado con letras (A, B, C) tomando en cuenta que la calificación A quiere decir que el animal tiene un patrón respiratorio de eupnea y la frecuencia respiratoria dentro del rango para la especie. La calificación B indica que hay una anomalía en el patrón respiratorio o un incremento o disminución en la FR y, por último, la calificación C quiere decir que se ha encontrado alguna anomalía como disnea o taquipnea que podría perjudicar la vida del animal por lo tanto sería una causa de descalificación.

Para evaluar el estado metabólico de los animales se examinó el índice de recuperación cardiaca, membranas mucosas, tiempo de llenado capilar, retorno del pliegue cutáneo y motilidad. Con estos parámetros se evaluó si el estado del caballo es el adecuado para seguir en competencia.

Para evaluar el índice de recuperación cardiaca se debe medir la frecuencia cardiaca con la que el equino entra al control veterinario, luego se hace que el animal trote 80 metros y se vuelve a medir la frecuencia cardiaca después de un minuto desde que el caballo inicia a trotar. La diferencia entre la primera y segunda auscultación es el índice de recuperación cardiaca.

Las membranas mucosas se evalúan en las encías y se califican como A cuando se encuentran rosadas y húmedas, B si están congestivas, un poco secas o la saliva esta pastosa y C si están muy congestivas, cianóticas o secas.

El pliegue cutáneo se calificó como A si el tiempo de retorno del pliegue en segundos es menor a 1, B si se demora entre 1-2 segundos y C si va desde 3-4 segundos.

La motilidad intestinal se determinó por los sonidos intestinales. La calificación A quiere decir que existe normomotilidad, B si hay una hipomotilidad, es decir si estos se encuentran disminuidos los borborismos en términos de intensidad o frecuencia y C si estos se encuentran muy ampliamente disminuidos en intensidad o frecuencia, o se encuentran ausentes.

El tiempo de llenado capilar se determinó en una escala de 1 a 4 dependiendo del tiempo en segundos en que después de presionar la encía esta vuelve a su color original. En donde, 1 se consideró cuando demoraba 1 segundo, 2 de 1-2 segundos, 3 si se demora 3 segundo y 4 más de 3 segundos.

El tono muscular se evaluó por observación y palpación de las masas musculares. La calificación A, quiere decir que la musculatura del lomo y de la grupa mantienen un tono adecuado y no existe dolor a la palpación, la calificación B indica un aumento de tono o flacidez y sensibilidad a la palpación y por último C indica que hay contracturas, dolor y fasciculaciones.

Los andares se califican al momento del trote en A, B o C, en este parámetro se evalúa la regularidad y calidad del trote. A quiere decir que el trote es voluntarioso y regular, B indica que el trote es inconsistente, que el animal está cansado o con poca

voluntad para trotar y C es cuando es el trote es inconsistente y se tiene un grado de claudicación.

Por último, la apariencia general, en este parámetro los equinos deben demostrar con una condición adecuada para iniciar la competencia, continuar corriendo o concluir la carrera, también se evalúan que los parámetros evaluados anteriormente se encuentren bien. Si los animales muestran una condición general pobre o tienen signos de temperatura elevada serán eliminados de la competencia. Al igual que otros parámetros este se califica en A, B y C. A quiere decir que el animal muestra una apariencia general buena, no muestra signos de agotamiento o temperatura elevada. B indica que el animal muestra varios signos que indican cansancio o algún tipo de desorden metabólico y por último C quiere decir que el caballo tiene una condición general muy pobre o temperatura elevada, por lo tanto, no puede seguir compitiendo.

(Fédération Équestre Internationale, 2018)

Control veterinario

A los 8 equinos participantes en la categoría de 81km, los cuales forman parte del estudio se les realizó cuatro controles veterinarios.

La primera inspección se realizó antes de comenzar con la competencia, esta es rápida se ven herrajes, andares, anomalías cardíacas, signos de preñez o celo, heridas y estado metabólico para determinar si el animal se encuentra o no en condiciones de competir. Posteriormente se realizó un control veterinario en la llegada de cada una de las vueltas para determinar si los equinos se encontraban en condiciones adecuadas para seguir compitiendo, analizando cada uno de los factores explicados anteriormente en la evaluación veterinaria.

Obtención de muestras sanguíneas

Para la obtención de la muestra de sangre se realizó primero una adecuada antisepsia con alcohol en el tercio medio de la región yugular para cada uno de los equinos. Una vez concluida la antisepsia se realizó un torniquete con la mano izquierda en la base del surco yugular y se ingresó una jeringuilla de 10ml con el bisel de la aguja de calibre 18G x 1 ½" para arriba en un ángulo de 45 grados. Todo el procedimiento fue realizado con guantes de látex de manejo y un mismo operador tomó las muestras en todos los caballos.

La sangre extraída se recolectó en 3 diferentes tubos vacutainer:

1. Tubo lila con EDTA para determinar hematocrito y proteínas totales.
2. Tubo rojo sin anticoagulante para determinar sodio, potasio, cloro, calcio iónico, magnesio y albumina.
3. Tubo celeste con citrato de sodio al 3,8% para determinación del valor de bicarbonato.

Para el tubo lila se recolectó 1ml, para el rojo 5ml y para el tubo celeste igualmente 1ml. Recolectando un total de 7ml por muestreo.

Durante la jornada se recolectaron cuatro muestras por cada ejemplar. La primera muestra se realizó con el animal en descanso a primera hora de la mañana con el fin de tener una línea base. Durante la carrera se obtuvo una muestra después de cada una de las vueltas después de haber pasado por el control veterinario con el fin de no estresar a los caballos. El muestreo se realizó en general a los 10 minutos de haber salido del control veterinario.

Inmediatamente después de recolectar las muestras se centrifugaron los tubos con citrato de sodio y sin anticoagulante por 10 minutos a 3000rpm, posteriormente se

recolectó con una pipeta el plasma y el suero, para ser transferidos en tubos eppendorf previamente rotulados.

Las muestras fueron trasladadas en un cooler con hielo a 4 °C, teniendo la precaución de que estas no tengan contacto directo con el hielo, para mantener las muestras en refrigeración. Las muestras fueron llevadas desde Mulaló hacia el laboratorio del Hospital Docente de Especialidades Veterinarias de la Universidad San Francisco de Quito en el transcurso del día para procesarlas lo antes posible.

Procesamiento y métodos analíticos de las muestras sanguíneas

Lactato.

Para la medición de lactato se utilizó el equipo de medición instantánea accutrend plus kit en la cual se colocó una tira accutrend lactate específica para lactato junto con una gota de sangre de la muestra previamente extraída e inmediatamente en la pantalla de la maquina apareció el valor de lactato sanguíneo en mmol/L.

Hematocrito y proteínas totales.

Para el procesamiento del hematocrito se utilizó tubos capilares, se llenaron con sangre entera con EDTA. Uno de los extremos del capilar fue sellado con la llama del mechero. Posteriormente se centrifugaron los tubos por 5min a 10.000rpm. Una vez separado el plasma y los elementos figurados de la sangre, se leyeron los resultados en escalas comerciales para hematocrito para determinar el porcentaje de glóbulos rojos.

Una vez leídos los valores de hematocritos se utilizaron los mismos capilares para la determinación de proteínas totales. Para esto se rompió cada uno de los capilares y se colocó una gota del plasma en el prisma del refractómetro. Una vez colocada la gota se puso el refractómetro contra luz y se tomó lectura de los

resultados en la escala proporcionada en el prisma del refractómetro. El valor total de proteínas proporcionado por el refractómetro esta dado en g/L.

Electrolitos.

Se analizó el suero en el equipo ST-100B Electrolyte Analyzer, el cual trabajó por medio del método ion selectivo. Para este método se utilizan electrodos que poseen una membrana sensible, selectiva a un ion en particular. Por medio de este método se determinaron las concentraciones de sodio, cloro, potasio, calcio iónico, magnesio y bicarbonato. El equipo trabaja con la unidad de mmol/L. En el caso del bicarbonato se siguió el mismo procedimiento, pero en este caso con el plasma obtenido del tubo de citrato de sodio al 3,8%.

Albumina.

Se utilizó el equipo Semi-Auto Chemistry Analyzer, el cual trabaja por medio de diferentes métodos analíticos principalmente por turbidimetría y colorimetría. Estas actúan por medio de la espectrofotometría mediante la transmisión de luz y la percepción del color.

Análisis de datos

Velocidad media.

Para la obtención de la velocidad media se calculó primeramente el tiempo de carrera de cada uno de los binomios de acuerdo a los tiempos de partida y tiempos de llegada establecidos en cada una de las fichas. Una vez obtenido el tiempo de carrera, se lo convirtió a segundos para la obtención de la velocidad media.

Para el cálculo de la velocidad media se transformó la distancia que estaba en kilómetros a metros, ya que la velocidad media se determina en metros por segundos y se utilizó la siguiente ecuación:

$$V_m = \text{Distancia recorrida (m)} / \text{Tiempo de Carrera (s)}$$

Determinación de Anión Gap, iones fuertes y débiles.

Para el análisis del equilibrio ácido-base se trabajó con la ley química de electroneutralidad, la cual estipula que la suma de los cationes debe ser igual a la suma de los aniones siempre en soluciones acuosas.

$$\begin{aligned} \text{Anión Gap} &\rightarrow (\text{Na}^+ + \text{K}^+) - (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-) \\ \text{SID} &\rightarrow (\text{Na}^+ + \text{K}^+) - (\text{Cl}^- + \text{Lactato}) \\ \text{A}^- &\rightarrow (\text{PT g/L}) \times (0,175\text{mEq}) \end{aligned}$$

- Anión Gap es la diferencia entre las concentraciones de cationes y aniones no medidos, la cual se mide en mmol/L.
- SID por sus siglas en ingles quiere decir la diferencia de iones fuertes (cationes-aniones) y se mide en mmol/L.
- A⁻ es la carga aniónica de las proteínas totales en el suero. Se multiplica el valor de proteínas totales por la constante 0,175mEq y el resultado total se obtiene en mEq/L.

(Stämpfi, 2006)

Análisis estadístico.

Una vez obtenidos todos los resultados se realizó un análisis de los datos para determinar si cada una de las variables analizadas tenían o no una distribución normal. Para este análisis se realizó el test de Shapiro-Wilk, ya que este es uno del test

considerado como más potentes para el contraste de normalidad, sobre todo en caso de muestras pequeñas.

Posteriormente se realizó la prueba de Bartlett para analizar la varianza de los datos y para establecer la homocedasticidad de las varianzas. Finalmente se realizó la prueba de Tukey para establecer diferencias en cada uno de los parámetros analizados entre las distancias recorridas.

Para las muestras que no presentaron una distribución normal (Frecuencia cardiaca y bicarbonato) con la prueba de Shapiro -Wilk se les aplicó logaritmo base 10 para tratar de normalizar los datos. Sin embargo, las muestras no se normalizaron, por lo que se decidió analizar estos datos utilizando pruebas no paramétricas. Se utilizó el test de Kruskal Wallis para determinar si el grupo de datos provenían de la misma población y finalmente se realizó la prueba comparativa de Kruskal Wallis para determinar homogeneidad entre los resultados obtenidos en las diferentes distancias.

Se consideró diferencias significativas cuando el valor de probabilidad fue menor a 0.05 ($P < 0.05$).

RESULTADOS

Evaluación veterinaria

El tiempo de recuperación y la velocidad media de los binomios durante cada una de las vueltas de la carrera de endurance de 81km en Mulaló se encuentran detalladas en la Tabla 1. Durante toda la competencia los equinos corrieron a una velocidad media aproximada de 4m/s y el tiempo de recuperación en cada una de las vueltas para entrar al control veterinario se mantuvo entre 4.0 a 7.6 minutos.

Tabla # 1. Tiempo de recuperación y velocidad media de los binomios compitiendo una carrera de endurance de 81km (n=8).

Parámetro evaluado	Unidades	Distancia			
		0km	34km	61km	81km
Velocidad media	m/s	0	4,1	4,0	3,9
Tiempo de recuperación	min	00:00	07:40	04:02	07:58

Los valores están expresados en media. m/s= metros/segundos, min=minutos

Los resultados presentados en las fichas clínicas de cada uno de los equinos durante 4 controles veterinarios posterior a la llegada en cada una de las vueltas recorridas se ven presentados en la tabla 2.

De acuerdo con los resultados obtenidos en cuanto a la frecuencia cardiaca, membranas mucosas, tiempo de llenado capilar y el retorno del pliegue cutáneo se puede observar que a medida que los equinos cumplían con una distancia acumulada mayor, se evidenciaron signos iniciales de deshidratación.

Todos los equinos presentaron normomotilidad en la evaluación basal, pero a medida que fueron cubriendo una distancia mayor, la motilidad fue disminuyendo progresivamente. En donde al finalizar con la carrera 4 equinos presentaron normomotilidad y 4 se encontraban con hipomotilidad.

Durante los 81km de carrera los equinos evaluados mantuvieron una respiración, tono muscular, andares y apariencia general estable dentro de los estándares de evaluación mencionados anteriormente.

Tabla # 2. Resultados obtenidos en las evaluaciones veterinarias de equinos compitiendo en una carrera de endurance de 81km (n=8).

Parámetro evaluado	Distancia			
	0km	34km	61km	81km
FC (Lat/min)	40,0 ± 6	60,0 ± 1	58,5 ± 6	60,0 ± 0
Mm	8/8= A	8/8= A	6/8= A	3/8= A
			2/8= B	5/8= B
TLLC (s)	7/8=1	6/8= 1	3/8= 1	4/8=1
	1/8=2	2/8=2	5/8= 2	4/8=2
RPC	8/8= A	6/8= A	5/8= A	3/8= A
		2/8= B	3/8= B	5/8= B
Motilidad	8/8= A	7/8= A	5/8= A	4/8= A
		1/8= B	3/8= B	4/8=B
R	8/8= A	8/8= A	8/8= A	8/8= A
Tono muscular	8/8= A	8/8= A	8/8= A	8/8= A
Andares	8/8= A	8/8= A	8/8= A	8/8= A
Apariencia general	8/8= A	8/8= A	8/8= A	8/8= A

FC= frecuencia cardiaca, R= respiración, Mm=membranas mucosas, TLLC= tiempo de llenado capilar, RPC= retorno del pliegue cutáneo

Hematocrito

Desde el inicio de la carrera hasta los 61km el porcentaje del hematocrito se mantuvo constante. Sin embargo, a los 81km el hematocrito disminuyó en un 15,4% ($p > 0.05$) con respecto a su valor basal (0,39%) (Figura 2).

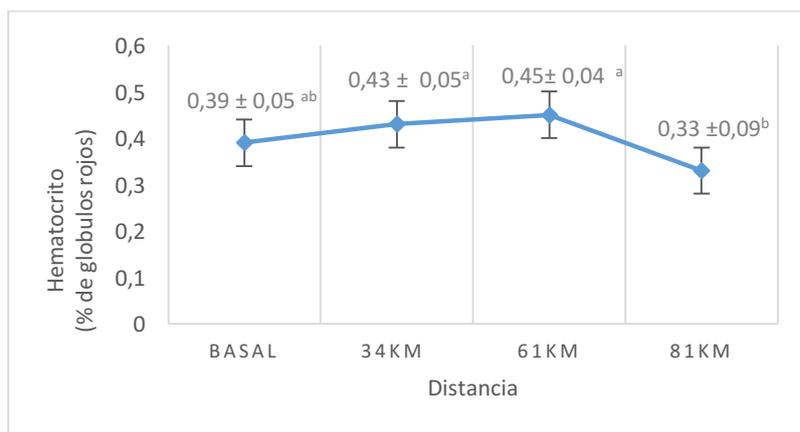


Figura # 1. Efecto de una carrera de endurance de 81km sobre el hematocrito en equinos (n=8).

Letras distintas indican diferencias significativas a $P < 0.05$ entre vueltas.

Albumina

No se observó variaciones significativas en la concentración de albumina a lo largo de los 81 km, como se observa en la figura 3, en donde las concentraciones de albumina permanecieron constantes a lo largo de la carrera ($p > 0.05$).

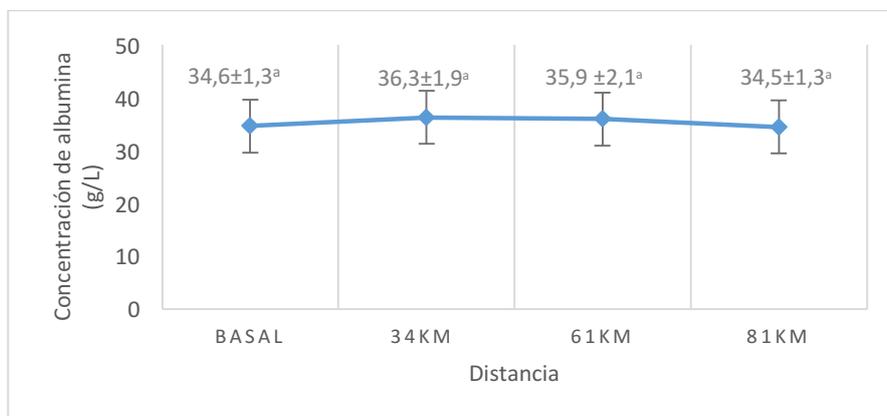


Figura # 2. Efecto de una carrera de endurance de 81km sobre las concentraciones séricas de albumina en equinos (n=8).

Letras distintas indican diferencias significativas a $P < 0.05$ entre vueltas.

Electrolitos

El efecto de la distancia sobre las concentraciones plasmáticas de los electrolitos en equinos corriendo una carrera de endurance de 81km se observan en la

Tabla 3. En donde, el calcio iónico presentó leves variaciones en sus concentraciones a lo largo de la carrera. Tomando en cuenta su valor basal (1.4 ± 0.06 mmol/L), se determinó que sus concentraciones permanecieron constantes hasta los 34km de carrera. Pero a partir de los 61km se observó una disminución (1.3 ± 0.05 mmol/L) de un 8,5% en las concentraciones calcio iónico con respecto a su valor basal. A los 81km las concentraciones del calcio iónico presentaron valores similares con respecto al valor basal ($1,3 \pm 0,10$ mmol/L) ($p < 0.05$).

El cloro mostró una variación únicamente al final de la competencia, en donde sus concentraciones se mantuvieron constantes desde la medición basal hasta los 61km. Posteriormente a los 81Km, las concentraciones de cloro disminuyeron en un 7,03% con respecto a su valor basal ($102,7 \pm 2,9$ mmol/L) ($P < 0.05$) (tabla 3).

El potasio presentó fluctuaciones en sus concentraciones a lo largo de la carrera. Considerando su valor basal ($3,9 \pm 0,6$ mmol/L) se observó que a los 34km este electrolito disminuyó en un 22,4% ($p < 0.05$). Posteriormente, a los 61km sus concentraciones se estabilizaron con respecto al valor basal y al valor obtenido a los 34km. Por último, a los 81km las concentraciones de Potasio presentaron una nueva fluctuación, en donde se observó una disminución respecto a su valor basal ($p < 0.05$) (Tabla 3).

El magnesio y el sodio no presentaron variaciones en sus concentraciones durante los 81 km de carrera de enduro ($p > 0.05$) (Tabla 3).

Tabla # 3. Concentración promedio (\pm DE) de Calcio iónico, Cloro, Potasio, Magnesio y Sodio durante una carrera de endurance de 81km (n=8).

Parámetros	Unidades	Distancia			
		0km	34km	61km	81km
Ca iónico	mmol/L	1,4 \pm 0,06 ^a	1,4 \pm 0,05 ^{ab}	1,3 \pm 0,05 ^b	1,3 \pm 0,10 ^{ab}
Cl	mmol/L	102,7 \pm 2,9 ^a	99,7 \pm 2,2 ^a	100,2 \pm 3,8 ^a	95,4 \pm 3,0 ^b
K	mmol/L	3,9 \pm 0,6 ^a	3,0 \pm 0,9 ^b	3,2 \pm 0,4 ^{ab}	3,1 \pm 0,5 ^b
Mg	mmol/L	0,9 \pm 0,08 ^a	0,9 \pm 0,13 ^a	0,9 \pm 0,16 ^a	1,0 \pm 0,19 ^a
Na	mmol/L	138,0 \pm 2,2 ^a	137,7 \pm 2,5 ^a	139,3 \pm 3,1 ^a	136,2 \pm 4,6 ^a

Letras distintas indican diferencias significativas entre vueltas. $P < 0.05$. Ca iónico=calcio iónico, Cl=cloro, K=potasio, Mg=magnesio, Na=sodio.

El bicarbonato presentó un incremento de un 9,1% a los 34km con relación a su valor basal ($28,9 \pm 0,7$ mmol/L) ($P < 0.05$). Posteriormente, sus concentraciones permanecieron estables hasta el final de la carrera respecto al valor obtenido a los 34km (Figura 4).

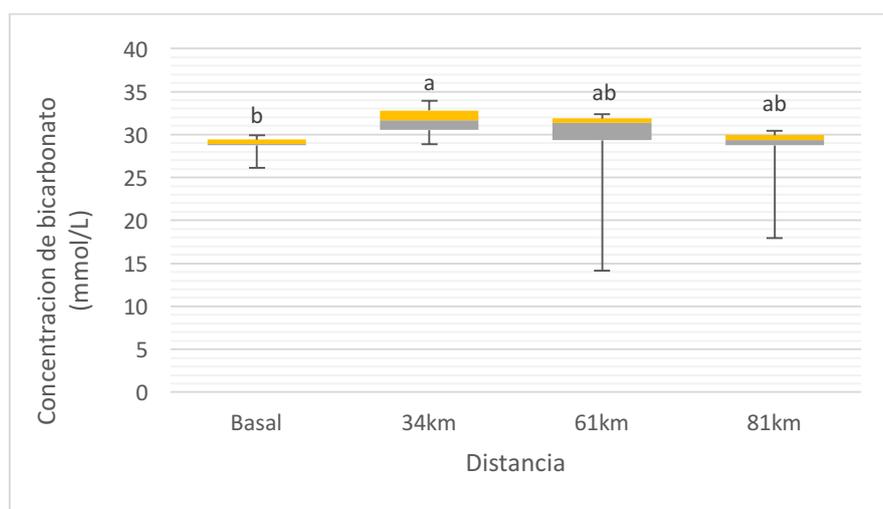


Figura # 3. Efecto de una carrera de endurance de 81 km sobre la concentración de bicarbonato en equinos (n=8).

Letras distintas indican diferencias significativas entre vueltas. $P < 0.05$

Equilibrio Ácido-Base

El efecto de la distancia sobre los parámetros determinantes del equilibrio ácido base en equinos corriendo una carrera de endurance de 81km se puede apreciar en la tabla 4.

El lactato sanguíneo se mantuvo constante desde el inicio de la carrera hasta los 34km. A los 61km se observó una disminución significativa ($P<0.05$) de un 31% con respecto al valor de los 34km ($4,1 \pm 0,5$). En cuanto a este parámetro no se puede determinar que tenga una tendencia directa a incrementar o disminuir en relación a la distancia.

El anión GAP presentó una gran variación en sus concentraciones a los 81km respecto al valor basal. Se mantuvo sin variaciones desde el inicio de la carrera hasta los 61km. Sin embargo, a los 81 km se evidenció un incremento significativo ($p<0.05$) de 32,5% con respecto al valor basal ($10,5 \pm 1,5$ mmol/L).

La SID se mantuvo constante hasta los 64km y a los 81km presentó un incremento significativo ($P<0.05$) de 10,2% en relación a su valor basal ($36,5 \pm 3,0$ mmol/L).

La carga aniónica de las proteínas totales permaneció constante durante toda la competencia ($p<0.05$).

Tabla # 4. Concentraciones promedio (\pm DE) de lactato, anión GAP, SID y A- durante

Parámetros	Unidades	Distancia			
		0km	34km	61km	81km
Lactato	mmol/L	$3,2 \pm 0,6^{ab}$	$4,1 \pm 0,5^a$	$2,8 \pm 0,8^b$	$3,2 \pm 1,2^{ab}$
Anión GAP	mmol/L	$10,5 \pm 1,5^b$	$9,3 \pm 2,2^b$	$13,3 \pm 7,4^b$	$15,6 \pm 3,6^a$
SID	mmol/L	$36,5 \pm 3,0^b$	$37,4 \pm 2,3^{ab}$	$39,5 \pm 2,1^{ab}$	$40,6 \pm 3,5^a$
A ⁻	mEq/L	$11,3 \pm 1,2^a$	$12,6 \pm 1,2^a$	$12,2 \pm 1,1^a$	$12,1 \pm 0,1^a$

una carrera de endurance de 81km (n=8).

Letras distintas indican diferencias significativas a $P<0.05$ entre distancias. PCO_2 = Presión parcial de dióxido de carbono, PT= proteínas totales, HCO_3

DISCUSIÓN

De acuerdo con el análisis basal realizado en los 8 equinos se pudo determinar que el hematocrito, albumina, proteínas totales y electrolitos se encontraban dentro de sus rangos de referencia (Kaneko, Harvey y Bruss, 1997). Así mismo, la evaluación veterinaria inicial no mostró alteraciones clínicas (Fédération Équestre Internationale, 2018), lo que quiere decir que al inicio de la carrera ninguno de los equinos que participaron en el estudio tenía desbalances o alteraciones, por lo tanto, las variaciones que se observaron a lo largo de los 81km de carrera fueron determinadas por las demandas del ejercicio y el ambiente.

En la medición basal las concentraciones de lactato ($3,2 \pm 0,6\text{mmol/L}$) se encontraron por sobre el límite superior del rango de referencia (1,11-1,78mmol/L) (Kaneko, Harvey y Bruss, 1997). Este valor inicial de las concentraciones de lactato se le atribuyen al estrés del transporte, ya que, los equinos llegaron a la competencia por diferentes medios ese mismo día en la mañana. Las concentraciones de lactato se mantuvieron por sobre el rango de referencia durante los 81km de carrera. Sin embargo, estos valores fueron relativamente bajos, al compararlos con estudios previos (Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan, Wensing, Barneveld y Berukink, 1991; Viu *et al.*, 2010), en donde se reportan hallazgos muy similares a los obtenidos en este trabajo. Dichos estudios analizaron las concentraciones de lactato en sangre en equinos corriendo carreras de endurance de 100km y 120km respectivamente. En condiciones climáticas y de pista muy similares a las de este estudio. Al respecto, Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan, Wensing, Barneveld y Berukink (1991) reportan concentraciones menores a 3,8mmol/L en una carrera de 100km en los equinos que

terminaron la carrera sin problemas. De igual manera, Viu *et al.* (2010), indican que durante los 120km de carrera las concentraciones de lactato sanguíneo fueron menores a 2,7mmol/L.

De acuerdo con la literatura (Marlin y Nankervis, 2002) durante el ejercicio los equinos deben alcanzar velocidades de 8-10m/s para que exista una activación de las vías anaeróbicas de energía, y, por lo tanto, una producción de ácido láctico. Por ende, con los resultados obtenidos de velocidad media y concentraciones sanguíneas de lactato, se pudo determinar que los equinos utilizaron principalmente una vía aerobia para la obtención de energía a nivel muscular. La velocidad media calculada de la carrera fue de 3,95 a 4,11 m/s, lo cual explica porque las concentraciones de lactato durante toda la carrera se mantuvieron en un rango entre los 2,85 a 4,13mmol/L. Este es un resultado consistente con las características metabólicas de ejercicio prolongado, ya que, la vía preferencial de producción de energía en ejercicio de endurance es aerobio (Muñoz, Riber, Trigo y Castejón, 2010).

A los 34km de carrera las concentraciones de K^+ presentaron una disminución leve con respecto a su valor basal ($3,9 \pm 0,6$ mmol/L) de un 22,4% ($p < 0,05$), en donde las concentraciones de potasio disminuyeron a $3,0 \pm 0,9$ mmol/L (Tabla 3). No obstante, estas permanecieron dentro del rango de referencia para la especie (2,4- 4,7 mmol/L) (Kaneko, Harvey y Bruss, 1997). Posteriormente, las concentraciones de K^+ se mantuvieron bajas, durante los 81km permanecieron dentro de rango. Disminuciones leves y moderadas han sido descritas por otros autores, Rose (1981) indica que, durante procesos de alcalosis metabólica, las concentraciones de potasio disminuyen debido a un intercambio de H^+ y K^+ entre el espacio intracelular y el extracelular con el fin de mantener el pH sanguíneo. Así mismo, en investigaciones anteriores se ha

evidenciado una pérdida importante de potasio a través de la sudoración, ya que, se han descrito pérdidas de K^+ en la sudoración de hasta 78 ± 8 mmol/L en equinos compitiendo en endurance (Rose, Arnold, Church y Paris, 1980).

En la medición de los 34km los equinos también presentaron un incremento significativo de las concentraciones de bicarbonato ($31,675 \pm 3,1$ mmol/L), las cuales se encontraron por sobre el límite superior del rango de referencia (20-28 mmol/L) (Kaneko, Harvey y Bruss, 1997). Las concentraciones de este mineral incrementaron a los 34km y se mantuvieron altas durante toda la carrera. El incremento que presentó el bicarbonato es leve, en base a lo reportado de Saínz (2006), quien indica que, en ausencia de signo clínicos de este desbalance, se considera un aumento leve. Aunque este desbalance fue leve, desencadenó una serie de variaciones en otros minerales, debido a influencia directa que tiene el HCO_3^- sobre el pH sanguíneo. En estudios previos (Foreman, Waldsmith, y Lalum, 2003; Viu *et al.*, 2010) se han evidenciado resultados muy similares en cuanto a la elevación de las concentraciones de bicarbonato durante ejercicios prolongados.

A nivel renal se reabsorbe entre 60% y 85% del bicarbonato filtrado, es decir que prácticamente todo el HCO_3^- es reabsorbido. La mayor parte del bicarbonato es reabsorbido en el túbulo proximal, en donde los cambios en el volumen de líquido extracelular alteran la reabsorción isoosmótica a través de cambios de las fuerzas de Starling en los capilares. Durante el ejercicio el volumen del líquido extracelular disminuye para incrementar el volumen plasmático, por lo tanto, se estimula la reabsorción isoosmótica en el túbulo proximal y por ende la reabsorción de HCO_3^- (Constanzo, 2014). Posteriormente el bicarbonato atraviesa la membrana plasmática basolateral y vuelve al torrente sanguíneo por diferentes vías (Klein, 2014). Así mismo,

cuando existe una disminución del líquido extracelular interviene el sistema renina-angiotensina-aldosterona e igualmente por distintos mecanismos se estimula la reabsorción de HCO_3^- (Constanzo, 2014). Este desbalance de bicarbonato produce un incremento en el pH sanguíneo produciendo alcalosis metabólica (Toribio, 2010).

En la evaluación veterinaria realizada a los 34km, pocos de los equinos participantes en el estudio comenzaron a presentar signos leves de deshidratación, lo que implica una disminución del flujo sanguíneo a nivel renal, que es detectado por el sistema renina-angiotensina-aldosterona, el cual por medio de una serie de procesos va a causar un incremento de la reabsorción de agua y electrolitos a nivel de los túbulos renales (McKeever, 2004). Por lo tanto, se puede apreciar que los resultados obtenidos en la evaluación veterinaria van de la mano con los desbalances obtenidos a los 34km de carrera.

A los 61km de carrera se presentó una disminución de las concentraciones de Ca iónico con respecto a su valor basal. Como se observa en la tabla 3, las concentraciones de calcio iónico disminuyeron a $1,3 \pm 0,05\text{mmol/L}$, valor que se encuentra por debajo del límite inferior del rango de referencia (1,4-1,6 mmol/L) (Kaneko, Harvey y Bruss, 1997). Por lo tanto, se trata de una hipocalcemia moderada, ya que en esta etapa los equinos comenzaron a presentar signos clínicos de hipocalcemia (Galvão, Schenck y Chew, 2017). La hipocalcemia se mantuvo hasta el final de la competencia. Estos resultados obtenidos son consistentes con investigaciones realizadas previamente en equinos compitiendo en carreras de endurance, en donde se han evidenciado disminuciones mantenidas de calcio (Foreman, Waldsmith, y Lalum, 2003).

Este desbalance se le atribuye principalmente a la alcalosis metabólica producida los 34km, debido al incremento en las concentraciones de bicarbonato sanguíneo. Cuando el pH sanguíneo incrementa, el calcio se une a la albumina, para que de esta manera los protones que se encuentran unidos a esta proteína sean liberados y estabilicen el pH sanguíneo (Muñoz, Riber, Trigo y Castejón, 2010), dentro de su rango de referencia en equinos ($\text{pH} = 7,32-7,44$) (Kaneko, Harvey y Bruss, 1997). En el presente estudio se tomaron muestras para la determinación del pH sanguíneo. Sin embargo, estos resultados fueron excluidos del estudio, debido a la sensibilidad que tiene este parámetro, ya que, por el metabolismo de los eritrocitos el pH tiende a alterarse, por lo que no se tomó en cuenta este parámetro en el presente estudio. Por lo tanto, para el análisis de pH sanguíneo se recomienda el uso de un analizador portátil (Villers y Blackwood, 2009). La hipocalcemia también es atribuida a las pérdidas de este mineral a través de la sudoración. Por último, esta disminución de Calcio puede darse debido al paso de Ca iónico hacia el espacio intracelular (Foreman, Waldsmith, y Lalum, 2003).

Como se observa en la tabla 2 a los 61km los equinos comenzaron a presentar mayores signos clínicos de deshidratación e hipomotilidad, lo cual está directamente relacionado con la hipocalcemia presentada en esta etapa, ya que los principales signos clínicos de esta deficiencia son: Hiperhidrosis, Íleo, debilidad muscular, arritmias cardíacas, cólico, excitación y flutter diafragmático (Toribio, 2010). Lo que implica que, debido a este desbalance metabólico, el desempeño e incluso la salud de los equinos pueda verse perjudicada.

A los 81km las concentraciones de Cl^- presentaron una disminución de un 7,03% con respecto a su valor basal ($95,4 \pm 3,0\text{mmol/L}$). En esta medición las concentraciones

séricas de cloro disminuyeron por debajo del rango de referencia de la especie (99-109mmol/L) (Kaneko, Harvey y Bruss, 1997), lo que quiere decir que los equinos presentaron una hipocloremia leve (Bohn y Autran de Morais, 2017). Los hallazgos obtenidos son consistentes con resultados reportados en investigaciones previas en equinos de endurance, en los cuales se reportan pérdidas importantes de las concentraciones de cloro en carrera. Rose, Arnold, Church y Paris (1980) determinaron las concentraciones electrolíticas en plasma y sudor en equinos realizando ejercicio prolongado y establecieron que el Cl^- es el principal electrolito que se pierde a través de la sudoración. En donde la concentración de este mineral alcanzó valores de entre 140 hasta 190mEq/L en sudor. Así mismo, a nivel plasmático se reporta una hipocloremia severa en los equinos participantes en el estudio, lo cual se atribuyó a la temperatura ambiental, que se mantuvo alrededor de los 30°C y fue una pista entre las montañas, muy exigente (Rose, Arnold, Church y Paris, 1980). Igualmente, Muñoz, Riber, Trigo y Castejón (2010) describen una hipocloremia moderada en equinos compitiendo una carrera de 91km, en la cual el rango de temperatura fue de $12,5-26,5^\circ\text{C}$ y fue un terreno de muy buena calidad.

Como se menciona anteriormente la hipocloremia que presentaron los equinos se debe principalmente a las pérdidas de Cl^- en la sudoración. Otra causa por la que se pierde Cloro es por la afluencia de agua o fluidos pobres en Cl^- y Na^+ en el espacio extracelular debido a la ingestión voluntaria de soluciones hipotónicas. Adicionalmente también se pierde este mineral por el paso de Cl^- y Na^+ desde el espacio intracelular al extracelular desde los tejidos que son menos metabólicamente activos durante ejercicios prolongados (Muñoz, Riber, Trigo y Castejón, 2010).

A diferencia del Cloro las concentraciones séricas de sodio permanecieron constantes durante los 81km (132-146mmol/L) (Kaneko, Harvey y Bruss, 1997). En estudios previos se han descrito resultados similares en los cuales, en donde las concentraciones de sodio se mantienen constantes durante competencias de endurance (Rose, Arnold, Church y Paris, 1980; Muñoz, Riber, Trigo, Castejón-Riber y Castejón, 2010; Foreman, Waldsmith, y Lalum, 2003). Sin embargo, en otros estudios se han evidenciado procesos de hiponatremia (Ecker y Lindinger, 1995) en carreras en las cuales la temperatura ambiental alcanza hasta los 32°C. No obstante, las pérdidas de cloro reportadas continúan siendo siempre mayores que las pérdidas de sodio.

La estabilidad que presentó el Na⁺ durante los 81km se le atribuye principalmente a la rápida acción que tiene el organismo frente al déficit o exceso de este mineral. Al haber un desbalance de sodio este es rápidamente detectado por el sistema Renina-Angiotensina-Aldosterona, el cual por medio de la secreción de diferentes hormonas producen una reabsorción rápida de sodio a nivel de los túbulos renales y un incremento en el volumen sanguíneo para suplir las necesidades del organismo (McKeever, 2004). Por otro lado, los equinos tienen un reservorio de sodio en el tracto gastrointestinal, que puede ser absorbido rápidamente cuando las concentraciones sanguíneas de sodio son bajas (Muñoz, Riber, Trigo y Castejón, 2010).

Al igual que el sodio, las concentraciones de magnesio permanecieron estables durante los 81km de carrera (0,90-1,15mmol/L) (Kaneko, Harvey y Bruss, 1997). En estudios previos autores reportan resultados similares con respecto a las concentraciones de magnesio en equinos corriendo carreras de 91km y 166km (Muñoz, Riber, Trigo, Castejón-Riber y Castejón, 2010). Sin embargo, Muñoz, Riber, Trigo, Castejón-Riber y Castejón (2010) reportan concentraciones por sobre el límite

superior del rango de referencia de magnesio en equinos descalificados durante los 91km y 166km de carrera.

El Mg^{2+} es un macro elemento esencial para el organismo. Este interactúa con el Ca^{2+} en el espacio intracelular y extracelular. El Ca^{2+} y el Mg^{2+} tienen efectos biológicos muy similares y por lo general trabajan sinérgicamente. De acuerdo con la literatura pacientes que presentan hipomagnesemia e hipocalcemia por lo general no responden al tratamiento con calcio hasta que no se tenga una normomagnesemia. Por otro lado, el Mg^{2+} cumple también un papel importante como cofactor de la bomba $ATPasa Na^+ / K^+$ para la mantención del potencial de membrana. Por ende, una hipomagnesemia causaría una disminución de las concentraciones de K y una acumulación intracelular de Na causando una hiperexcitabilidad, convulsiones, arritmias, debilidad muscular, fasciculaciones musculares y arritmias cardiacas (Toribio, 2010).

Aproximadamente el 70-80% de la energía producida por el ejercicio es eliminada en forma de calor para evitar un incremento de la temperatura corporal. El 65% de esta es eliminada a través de la sudoración, siendo esta una de las principales fuentes de pérdidas de agua y electrolitos. El volumen de fluido eliminado a través de la sudoración está determinado por la intensidad del ejercicio, ya que, si esta es mayor el cuerpo tiende a generar más calor a nivel muscular y, por lo tanto, tiene una necesidad mayor de disipar calor. Esto también está directamente relacionado con las condiciones ambientales. Los equinos pueden llegar a sudar entre 10-15 litros por hora (Sampieri, Schott, Hinchcliff, Geor y Jose-Cunilleras, 2006), por lo que las pérdidas por esta vía son muy importantes. Además, ellos generan un sudor hipertónico, por lo que, se pierden grandes cantidades de electrolitos. Los principales electrolitos que se

pierden por esta vía son Cl^- , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} en orden de mayor a menor (McKeever, 2004). Como anteriormente se menciona, el cloro es el principal electrolito que se pierde por esta vía. Sin embargo, también se pierden los demás minerales mencionados, por lo que, la sudoración es considerada la principal vía de pérdida de electrolitos (McKeever, 2004).

Por otro lado, a los 81km el hematocrito presentó una disminución importante. A esta disminución en los valores de hematocrito se lo ha descrito como un fenómeno de adaptación al ejercicio llamado hipervolemia. Este es un proceso fisiológico que consiste en una disminución en las concentraciones de hematocrito debido a una expansión del volumen plasmático. Esto ocurre para suplir las necesidades cardiovasculares y termorreguladores del organismo durante el ejercicio, ya que, de esta manera el organismo asegura un adecuado retorno venoso y gasto cardiaco durante actividades atléticas. Se ha sugerido que la respuesta hipervolemica se debe a un aumento en la actividad de la renina y vasopresina con una mejora en la retención de sodio y agua a nivel renal. De acuerdo con la literatura el incremento significativo en el consumo de agua inducido por el ejercicio también contribuye en dicho proceso. Este proceso se da en individuos deportistas, que poco a poco van desarrollando esta habilidad. Por lo tanto, esto implica que los equinos que participaron en este estudio se encuentran en un buen estado físico (McKeever, 1984).

En este estudio en los resultados obtenidos durante la evaluación veterinaria se observa que a medida que los equinos cumplían con una distancia acumulada mayor, presentaban signos de deshidratación. Sin embargo, no se ven cambios internos que indiquen que los equinos se encontraban deshidratados, ya que el hematocrito (36-44%) (Viu, *et al.*, 2010), albumina (26-37g/L) (Kaneko, Harvey y Bruss, 1997), sodio

(132-146mmol/L) (Kaneko, Harvey y Bruss, 1997) y las proteínas totales (52-79g/L) (Kaneko, Harvey y Bruss, 1997) se mantuvieron dentro del rango de referencia para la especie. Esto nos indica que a pesar de que clínicamente se hayan observado signos de deshidratación el organismo estuvo compensando para mantener la hidratación. Privilegiando a los tejidos que son metabólicamente activos durante ejercicios prolongados (Muñoz, Riber, Trigo y Castejón, 2010). Por el contrario, en otros trabajos (Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan, Wensing, Barneveld y Berukink, 1991) se han evidenciado procesos de deshidratación en los equinos de enduro, obteniendo incrementos principalmente en el hematocrito y proteínas totales.

A los 81km se evidenció un desbalance ácido básico importante, ya que, se presentó un incremento del anión GAP ($15,6 \pm 3,6$ mmol/L) por sobre el límite superior del rango de referencia (6-14mmol/L) (Emmett, 2006) y un incremento del SID ($40,6 \pm 3,5$ mmol/L) igualmente por sobre el límite superior del rango de referencia (35-38,5mmol/L) (Viu *et al.*, 2010) con respecto al valor basal. Estos desbalances ácido básicos se deben principalmente a la alcalosis metabólica (Saínez, 2006) y también debido la hipocloremia que presentaron los equinos en esta etapa (Emmett, 2006).

Como se puede observar en el análisis de las concentraciones de bicarbonato, calcio, cloro, anión GAP y SID, lo que sucedió con los equinos durante la carrera fue una alcalosis metabólica hipoclorémica al final de carrera. Este es un hallazgo que ha sido previamente descrito por múltiples autores que evalúan equinos corredores de endurance (Viu *et al.*, 2010; Rose, Arnold, Church y Paris, 1980; Foreman, Waldsmith, y Lalum, 2003). Según Rose y Jan (1979) la mayor alteración ácido-base asociada a ejercicio de endurance es la alcalosis metabólica y explica que la severidad está

asociada principalmente a la cantidad de iones de cloro que se pierdan a través de la sudoración.

De acuerdo con el comportamiento que presentaron los electrolitos y el balance ácido básico, se puede predecir que, en competencias más exigentes, ya sea por distancias mayores o por condiciones climáticas menos favorables, las alteraciones minerales serán mayores. Por lo tanto, los efectos sobre el desempeño físico y la salud de los equinos serán superiores. Adamu, Noraniza, Rasedee y Bashir (2012) en su estudio reportan pérdidas moderadas y severas de cloro en una carrera de 80km, en la cual 72 de 81 equinos fueron eliminados. Las condiciones climáticas de la carrera fueron muy exigentes, ya que, en promedio la temperatura ambiental fue de $29,06 \pm 1,1$ °C y la humedad relativa fue de $71,73 \pm 4,05\%$. Así mismo, se han descrito desbalances electrolíticos y ácidos básicos mayores en equinos compitiendo en carreras de 160km (Schott *et al.*, 2006).

En estudios anteriores se han reportado disminución de las alteraciones electrolíticas y ácido básicas con suplementación oral de electrolitos (Sampieri, Schott, Hinchcliff, Geor y Jose-Cunilleras, 2006). Sin embargo, no existe suficiente información que respalde esto. Por lo tanto, se recomienda para un siguiente estudio evaluar el efecto que tiene la suplementación electrolítica sobre el equilibrio ácido básico y electrolítico. Igualmente, para siguientes estudios se recomienda evaluar la influencia de la altura sobre estos parámetros, ya que, en Ecuador las competencias son mayormente en alturas por sobre los 2850msnm (Endurance Ecuador, 2018). Para esto se recomienda incluir análisis de: pH, PCO₂, PO₂, y Hemoglobina (Greene, Hurson y Wickler, 2006).

CONCLUSIÓN

Con el presente estudio se determinó que los equinos compitiendo en una carrera de endurance de 81km, con una temperatura ambiental de 6-12°C y una humedad relativa del 20% en Ecuador, presentaron en primera instancia una alcalosis metabólica que se mantuvo durante los 81km de carrera. La alcalosis metabólica se desde los 34km debido a un incremento en las concentraciones plasmáticas de bicarbonato, lo cual conllevó a que los equinos desarrollaran una hipocalcemia moderada desde los 61km hasta el final de la competencia. De la misma manera a los 81km los equinos presentaron alteraciones en el anión GAP, el SID y una hipocloremia leve como consecuencia de pérdida de minerales a través de la sudoración.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adamu, L., Noraniza, M. Rasedee, A. y Bashir, A. (2012). Effect of age and performance on physical, hematological, and biochemical parameters in endurance horses. *Journal of Equine Veterinary Science*. 33 (2012), 415-420.
- Barton, M., Williamson, L., Jacks, S. y Norton, N. (2003). 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. *American Journal of Veterinary Research*. 64(6), 746-752.
- Bohn, A. y Autran de Morais, H. (2017). A quick reference on chloride. Department of microbiology, immunology and pathology. College of veterinary medicine: Colorado State University, USA.
- Constanzo, L. (2002). *Fisiología*. Barcelona, España: Elsevier Saunders.
- Ecker, G. y Lindinger I. (1995). Effects of terrain, speed, temperature and distance on water and ion losses. *Equine Veterinary Journal*. 18, 298-305.
- Emmett, M. (2006). Anion- gap interpretation: the old and the new. *Nature Clinical Practice*. 2(1), 4-5.
- Endurance Ecuador (2018). *Resultados y estadísticas*. Recuperado de: <http://www.enduranceecuador.com>
- Fédération Équestre Internationale (2018). *Endurance ecuestre*. Recuperado de: <https://www.fei.org/?&content=14>
- Foreman, J. Waldsmith, J. y Lalum, R. (2003). Physical, acid-base and electrolyte changes in horses competing in training, preliminary and intermediate horse trials. *Equine and comparative exercise physiology*. 1(2), 99-105.
- Galvão, J., Schenck P. y Chew D. (2017). A quick reference on hipocalcemia. The Ohio State University. 47, 249-256.
- Gonzales, D. y Naranjo T. (2015). Evaluación de lactato sistémico y CK en caballos sometidos a diferentes tipos de ejercicio (Tesis pregrado). Universidad de las Américas, Ecuador.
- Greene, H., Hurson, M. y Wickler, S. (2006). Haematological and respiratory gas changes in horses and mules exercised at altitude (3800m). *Equine Exercise Physiology*. 36 (2006), 551-556.
- Kaneko, J., Harvey, J. y Bruss, M. (1997). *Clinical Biochemistry of domestic Animals*. California, USA: Academic Press.
- Klein, B. (2014). *Fisiología Veterinaria*. Baelcelona, España: Elsevier Saunders.

- Marlin, D y Nankervis, K. (2002). *Equine exercise physiology*. California, USA: Academic Press. Iowa, USA: Blackwell Publishing.
- McKeever, K. (2004). En: Hinchcliff, K., Kaneps, A. y Geor, R. (2004). *Equine Sports Medicine and Surgery*. Philadelphia, USA: Elsevier Saunders.
- McKeever, K. (1984). Exercise training-induced hypervolemia: The physiological mechanisms in the greyhound dog and the horse. Tesis posgrado. The University of Arizona, USA.
- Muñoz, A., Riber, C., Trigo, P. y Castejón, F. (2010). Muscle damage, hydration, electrolyte balance and vasopressin concentrations in successful and exhausted endurance horses. *Polish Journal of Veterinary Sciences*. 13(2), 373-379.
- Muñoz, A., Riber, C., Trigo, P., Castejón-Riber, C., Castejón M. (2010). Dehydration, electrolyte and renin-angiotensin-aldosterone-vasopressin axis in successful and unsuccessful endurance horses. *Equine Veterinary Journal*. 42 (38), 83-90.
- Rose, J. y Jan, E. (1979). Blood-Gas, Acid-Base and Haematologic values in horses during an endurance ride. *Equine Veterinary Journal*. 11(1), 56-59.
- Rose, J., Arnold, K., Church, S. y Paris, R. (1980). Plasma and sweat electrolyte concentrations in the horse during long distance exercise. *Equine Veterinary Journal*. 12(1), 19-22.
- Rose, J. (1981). A physiological approach to fluid and electrolyte therapy in the horse. *Equine Veterinary Journal*. 13(1), 7-14.
- Saínez, B. (2006). *Alteraciones del equilibrio ácido básico*. *Revista cubana de cirugía*. 45(1), 22-34.
- Sampieri, F., Schott, C., Hinchcliff, W., Geor, J. y Jose-Cunilleras, E. (2006). Effects of oral electrolyte supplementation on endurance horses competing in 80km rides. *Equine Exercise Physiology*. 36, 19-26.
- Schott, H., Marlin, D., Geor, R., Holbrook, T., Deaton, M., Vincent, T., Dacre, K., Schroter, R., Jose-Cunilleras, E. y Cornelisse, C. (2006). Changes in selected physiological and laboratory measurements in elite horses competing in a 160km endurance ride. *Equine Exercise Physiology*. 36 (2006), 37-42.
- Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan, M., Wensing, T., Barneveld, A. y Berukink, H. (1991). *Heart rate, blood chemistry and performance of horses competing in a 100km endurance ride*. *The Veterinary Record*. 128, 175-179.
- Stämpfi, H. (2006). How to use the routine serum biochemical profile to understand and interpret acid base disorders. *Proceedings of the 9th WCVA*. 9 (2006), 20-28.
- Toribio, R. (2010) En: Reed, S., Bayly, W. y Sellon, D. *Equine Internal Medicine*. St. Louis, USA: Elsevier Saunders.

- Viu, J., Jose-Cunilleras, E., Armengou, L., Cesarini, C., Tarancón, I., Rios, J. y Monreal, L. (2010). Acid-base imbalances during 120km endurance race compared by traditional and simplified strong ion difference methods. *Equine Veterinary Journal*. 42(38), 76-82.
- Villers, E. y Blackwood, L. (2009). *Manual de diagnostico de laboratorio en pequeños animales*. Barcelona, España: Ediciones S.
- World Weather Online (2009-2018). Machachi Historical Weather. Recuperado de <https://www.worldweatheronline.com>