



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL

CAMBIOS ELECTROLÍTICOS EN EL SUERO SANGUÍNEO DE CABALLOS,
ASOCIADOS AL ESFUERZO FÍSICO Y ALIMENTACIÓN CON ELEMENTOS
MINERALES

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

PRESENTA:

LAURA ANGÉLICA REYES LUZARDO

TUTOR PRINCIPAL:

RENÉ ROSILES MARTÍNEZ FMVZ

COMITÉ TUTORAL:

BUIJS RUDOLF MARINUS IIB

GUILLERMO VALDIVIA ANDA FESC

MÉXICO, D.F. SEPTIEMBRE 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatorias

A Dios, por su amor y ser mi fuerza para conseguir este importante logro en mi vida.

A mis padres, por apoyarme, brindarme consejos y en todo momento seguirán siendo una fuente de motivación para seguir adelante.

A mi hermano, por estar presente en mis pensamientos y acciones.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México y posgrado de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia que me han brindado muchos beneficios y participaron en mi formación personal y profesional.

Al programa de becas del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

Gracias a los caballos que me permitieron realizar este proyecto.

Gracias a todos los Médicos Veterinarios de la Unidad Médica de Policía Montada por apoyarme en la realización del estudio.

A mis profesores y doctores, gracias por su tiempo, por su apoyo así como por la sabiduría que me transmitieron para desarrollar la tesis y lograr un mayor rendimiento profesional.

A los doctores del Comité tutorial: Buijs Rudolf Marinus y Guillermo Valdivia Anda.

A los doctores participantes del Comité evaluador: Dra. Adriana Llorente Bousquets, Dra. Sara del Carmen Caballero Chacón, Dra. María Esther Ortega Cerrilla, Dr. Mariano Hernández Gil y al Dr. René Rosiles Martínez.

Reconocimientos

Al MVZ Cert. Manuel Eduardo Morones Soto, Médico responsable de la Unidad Médico Veterinaria de la Unidad de Policía Montada por su generosidad en proporcionarnos el acceso a los caballos.

Al Segundo inspector Antonio Alfaro Ramos, Director de la Unidad de Policía Montada de la Secretaria de Seguridad Pública.

Al Biólogo Daniel Díaz Espinosa de los Monteros por brindarme su apoyo en el desarrollo del análisis estadístico.

Índice

Resumen	1
Abstract	2
Introducción	3
Objetivos	3
Hipótesis	4
Revisión de literatura	4
1.1 Cambios en los electrolitos durante el ejercicio.....	9
1.2 Potasio.....	11
1.3 Sodio.....	12
1.4 Calcio y magnesio.....	13
1.5 Adaptaciones fisiológicas corporales ante la pérdida de fluidos y electrolitos.....	13
1.6 Proceso de termorregulación.....	15
1.7 Funciones de los electrolitos.....	18
1.8 Cambios metabólicos sanguíneos y sistemas de compensación.....	19
1.9 Lactato.....	20
Justificación.....	21
Material y métodos	22
2.1 Animales.....	22
2.2 Colección de muestras.....	24
2.3 Dieta.....	24
2.4 Registro de datos y análisis de laboratorio.....	24
2.5 Análisis estadístico.....	25

Resultados.....	28
3.1 Temperatura corporal.....	28
3.2 Lactato.....	29
3.3 Alimento.....	31
3.4 Análisis de las concentraciones basales de electrolitos sanguíneos.....	35
3.5 Análisis de las concentraciones de electrolitos sanguíneos posejercicio.....	40
Discusión.....	46
Conclusiones.....	50
Perspectivas.....	52
Literatura citada.....	53

Índice de figuras

1.1. Flujo del lactato en el caballo durante la realización y recuperación del ejercicio.....	5
1.2 Ciclo glucosa-lactato-glucosa, denominado ciclo de Cori.....	7
3.1.1 Promedio de la temperatura corporal (°C) antes (basal), a los 5 y 60 min posejercicio en grupo de caballos con diferente intensidad del ejercicio.....	29
3.2.1. Concentración promedio del lactato sanguíneo (mmol/L) antes (basal), a los 5 y 60 min posejercicio en grupos de caballos con diferente intensidad.....	30
3.4 Concentraciones basales de electrolitos sanguíneos.	34
3.4.1. Concentración basal de calcio sérico de caballos en diferentes intensidades de ejercicio.....	36
3.4.2. Concentración basal de magnesio sérico de caballos en diferentes intensidades de ejercicio.....	37
3.4.3. Concentración basal de sodio sérico de caballos en diferentes intensidades de ejercicio.....	38
3.4.4. Concentración basal de potasio sérico de caballos en diferentes intensidades de ejercicio.....	39
3.5 Concentraciones de electrolitos sanguíneos posejercicio.....	40
3.5.1. Concentración de calcio sérico en caballos antes y después del ejercicio.....	40
3.5.2. Concentración de magnesio sérico en caballos antes y después del ejercicio.....	41
3.5.3. Concentración de sodio sérico en caballos antes y después del ejercicio.....	42
3.5.4. Concentración de potasio sérico en caballos antes y después del ejercicio.....	43
3.5.5. Análisis de correspondencias de la asociación entre la intensidad del ejercicio: leve, moderado e intenso y el cambio (sube o baja) de la concentración de electrolitos sérico sanguíneos en caballos que realizan diferentes intensidad de ejercicio.....	45

Índice de cuadros

1.1. Índice de sudoración, concentraciones de iones (mmol/L) y osmolalidad (mOsm/kg) en caballos sometidos a dos intensidades de ejercicio y tres diferentes condiciones ambientales después de 10 min de ejercicio.....	8
1.5.1. Concentración de electrolitos séricos sanguíneos de caballos.....	14
1.5.2. Concentración electrolítica sérica (ug/ml) basal de los caballos en estudio.....	15
2.1.1. Características de los grupos de caballos según la intensidad del ejercicio.....	22
3.1.1. Variaciones promedio de la temperatura corporal (°C) en caballos por la intensidad del ejercicio.....	28
3.2.1. Concentración promedio (mmol/L) de lactato en caballos ejercitados.....	30
3.3.1. Elementos minerales en alimentos (mg/kg) que reciben los caballos en la prueba de intensidad del ejercicio.....	31
3.3.2. Requerimientos diarios de elementos minerales de los caballos según la intensidad del ejercicio (mg/kg PV).....	32
3.3.3. Diferencia entre el aporte de elementos minerales (mg/kg) por el alimento y las necesidades señaladas por el NRC 2007 según la intensidad del ejercicio del caballo.....	33
3.3.4 Diferencia de las concentraciones de los elementos minerales en el suero sanguíneo y en el alimento de caballos entre las concentraciones encontradas y las de referencia.....	34

Resumen

Identificar los cambios de: sodio, potasio, magnesio y calcio sérico sanguíneos, y su contenido en el alimento, temperatura corporal y lactato sanguíneo en caballos por efecto del ejercicio leve, moderado e intenso fue el objetivo de este estudio. Se utilizaron treinta y nueve caballos para formar tres grupos según la intensidad del ejercicio: 9 en “leve”, 20 en “moderado” y 10 caballos en “intenso”. La temperatura corporal se midió con un termómetro digital por vía rectal, mientras que el lactato sanguíneo se midió con un equipo portátil. La medición de los electrolitos, lactato y temperatura se hicieron antes, a los 5 y a los 60 min posejercicio. El sodio, potasio, calcio y magnesio se analizaron por espectrometría de emisión y absorción atómicas con previa liberación de la materia orgánica y la lectura de éstos bajo las condiciones de operación del equipo para cada elemento. Diversos análisis estadísticos se utilizaron para identificar las diferencias de respuesta de cada uno de los parámetros entre las tres intensidades del ejercicio. Se observó incremento de temperatura de 0.5°C a los 5 min en los caballos de ejercicio leve y moderado, y de 1.42°C en los caballos de ejercicio intenso. Los cambios del lactato posejercicio fueron: en el grupo de intensidad leve subió 0.5 mmol/L, en el grupo de moderada subió 2.1 mmol/L a los 5 min; en el grupo de ejercicio intenso subió 0.4 mmol/L pero a los 60 min. Para conocer la interacción categórico-ordinal de los parámetros se realizó un análisis de correspondencia. Aquí se encontró correspondencia entre la intensidad del ejercicio y el cambio en la concentración de los electrolitos. La intensidad leve mostró una estrecha asociación con la disminución de la concentración de potasio y magnesio, así como un incremento en la concentración de calcio. El ejercicio intenso se relacionó con decremento en la concentración de calcio y aumento del potasio. La intensidad moderada se asocia con disminución en la concentración de sodio. Al comparar las diferencias de las concentraciones de los elementos minerales entre los hallazgos de este estudio con los de referencia se recomienda complementar las deficiencias de sodio y reducir el exceso de potasio. En el caso de las concentraciones séricas del magnesio y calcio se encontraron que son deficientes pero la diferencia de la concentración de estos en el alimento es dependiente de la intensidad del ejercicio.

Palabras clave: electrolitos, temperatura corporal, lactato, ejercicio, caballos.

Abstract

Identify the changes of: Sodium, potassium, magnesium and blood calcium serum and content in the food, body temperature and blood lactate concentrations in horses due to the effect of low (9 horses), moderate (20 horses) and high intensity exercise (10 horses) was the aim of this study. Body temperature was rectally measured with the digital thermometer; the blood lactate was measured with a portable lactometer. Serum electrolytes, body temperature and blood lactate were recorded before, 5 and 60 minutes after exercise. Sodium, potassium, magnesium and calcium were analyzed in an atomic absorption and emission spectrometer, with previous liberation of the organic material and the procedure to measure each element was according to the technical operation of the equipment. Several statistical test were used to identify the differences of response of each one of the parameters between the three exercise intensities. The groups of horses low and moderate were observed an increment of 0.5°C at 5 minutes while in the group of intense exercise was of 1.42°C. The changes of the lactate after exercise were: in the low intensity group increased 0.5 mmol/L, in the moderate group went up by 2.1 mmol/L at five minutes, and in the intense exercise group raised 0.4 mmol/L but after 60 minutes. To know the categorical ordinal interaction of the parameters, a correspondence analysis was made. Here was found the correspondence between the exercise intensity and the change on the correspondence of the electrolytes. The low intensity showed a close association with the decrease of the potassium and magnesium concentrations, as well as the change of the calcium concentrations. The intense exercise was associated with the decrease of the sodium levels. At the time of comparing the amount of the mineral elements, the findings of this research with the reference, it is recommended to complement the sodium deficiencies and reduce the excess of potassium. In all groups, was found a serum deficiency in the levels of magnesium and calcium, but the difference of the concentrations of these elements in the food depends on the exercise intensity.

Keywords: electrolytes, body temperature, lactate, exercise, horses.

I.-Introducción

Los requerimientos nutricionales minerales de los équidos dependen de varios factores entre los que destacan: edad, raza, sexo, especie y condición fisiológica (mantenimiento, gestación, lactación, crecimiento y rendimiento atlético). Una de las variables que modulan las demandas de minerales en los caballos, es el ejercicio. Los caballos presentan cambios transitorios en la concentración electrolítica plasmática por breves períodos de tiempo durante el ejercicio de alta intensidad; los incrementos de sodio y potasio retornan a sus rangos normales en 5 min posteriores al ejercicio, sin embargo, los niveles circulantes de otros minerales permanecen alterados durante 5 ó 15 min después de un ejercicio de resistencia. Otros factores que influyen en la pérdida electrolítica son la temperatura ambiental y humedad relativa; en climas cálidos inducen una sudoración más acentuada que las condiciones imperantes de un sitio templado en caballos. Se considera al sudor como una de las vías de excreción más importantes de los minerales.

Objetivo general.

Detectar las alteraciones electrolíticas y de lactato sérico sanguíneos y temperatura corporal en caballos sujetos a diferentes intensidades de ejercicio e indicar la complementación óptima endovenosa, de abrevadero y alimenticia para optimizar el desarrollo del ejercicio.

Objetivos particulares

Identificar los cambios de temperatura corporal asociados con la intensidad del ejercicio.

Identificar y correlacionar los cambios en las concentraciones del lactato sanguíneo de los caballos con la intensidad del ejercicio.

Identificar las concentraciones de elementos minerales del alimento y relacionarlos con los electrolitos sérico sanguíneos.

Determinar el requerimiento alimenticio para la complementación o reducción de cada ión basada en las diferencias de lo encontrado con lo referido.

Identificar y correlacionar los cambios en las concentraciones de los electrolitos sérico sanguíneos de los caballos con la intensidad del ejercicio.

Hipótesis.

Las modificaciones de las concentraciones séricas sanguíneas de los electrolitos, del lactato y de la temperatura corporal se derivaran de la intensidad del ejercicio del caballo. Estos cambios electrolíticos en el suero sanguíneo se relacionan con el aporte mineral en la dieta.

Revisión de literatura

Al inicio de la realización del ejercicio, ocurre una adaptación fisiológica que consiste en una contracción esplénica debido a un reflejo autónomo para enviar eritrocitos al torrente sanguíneo.¹ Por lo tanto, se produce un estrés endógeno caracterizado por cambios de presión y flujos de aire inducidos por el estrés mecánico en las vías aéreas. Así como el incremento de los valores sanguíneos de potasio y ácido láctico. Además, se presenta el estrés oxidativo relacionado al metabolismo del oxígeno.²

El ejercicio submáximo de alta intensidad, también denominado como corto plazo produce una deshidratación por la pérdida de agua y electrolitos; además de una disminución del glucógeno en el músculo esquelético. La resíntesis de glucógeno muscular postejercicio requiere de fluido intracelular y concentración adecuada de potasio. Esto ocurre 48 a 72 h en caballos, mientras que en los humanos a las 24 h.³

Después de la realización del ejercicio, la concentración de lactato en sangre se incrementa y alcanza el pico de 2-10 min pos-ejercicio. Durante la recuperación, el principal consumo

de lactato es a nivel del músculo esquelético con la oxidación de este elemento en todos los tipos de fibras musculares.⁴

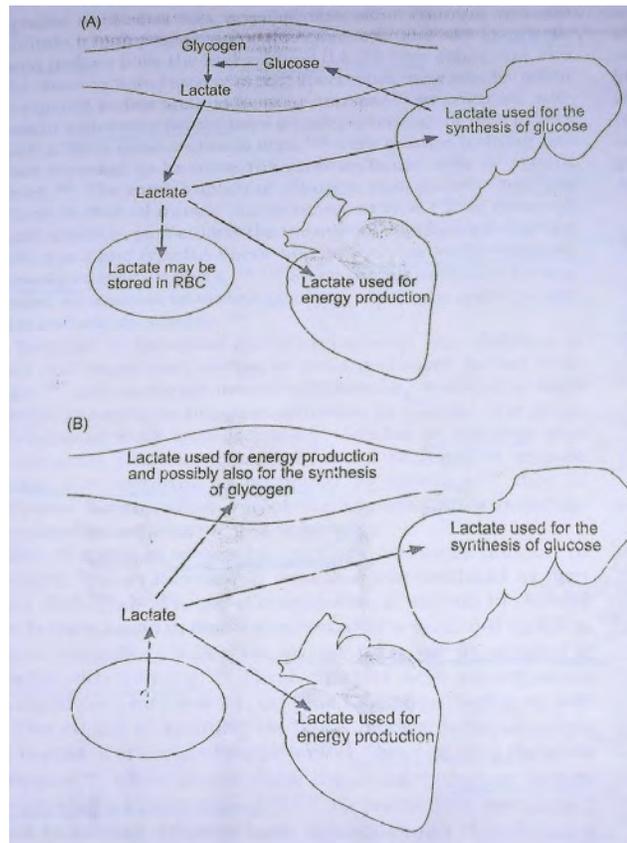


Figura 1.1. Flujo del lactato en el caballo durante la realización y recuperación del ejercicio. Fuente: Kenneth W. Hinchcliff, 2004.

En la Figura 1.1 se observa que (A) durante el ejercicio, el lactato es formado en los músculos y el flujo del lactato es a partir de las células musculares al plasma sanguíneo y tejidos (corazón e hígado) que puede usar el lactato para la producción de energía o glucosa. (B) Mientras que en la recuperación, la dirección del flujo de lactato es en reversa, de los glóbulos rojos al plasma y el principal utilizador de ácido láctico, el músculo esquelético. El periodo de recuperación después de realizar un ejercicio leve, los

requerimientos energéticos en el músculo se incrementan debido a que también aumenta la tasa de la desaparición de lactato.⁴

Los caballos tienen una alta capacidad oxidativa, pero su fuerza máxima requiere un porcentaje de energía; a partir de la glucólisis anaeróbica para la producción de lactato y protones. El flujo de lactato depende del gradiente de protones entre el músculo y la orientación de las membranas junto con los transportadores monocarboxilados. Los sustratos principales para la síntesis de ATP son fosfocreatina y carbohidratos, glucosa y glucógeno que en la glucólisis anaeróbica son oxidados a lactato.⁵ La concentración sanguínea de lactato es sensible a los cambios de intensidad y duración del ejercicio.⁶

Los músculos de los equinos son resistentes a cambios de pH. Durante el ejercicio máximo, la producción de protones excede la capacidad amortiguadora (buffer) y la célula muscular es acidificada. Esta acidificación tiene efectos positivos que permiten una rápida conducción de impulsos neuronales; manteniendo la excitabilidad. El efecto negativo, es que el exceso de los protones puede desarrollar un cuadro de fatiga.⁵

El umbral de lactato aeróbico-anaeróbico se utiliza para identificar la intensidad del ejercicio. La producción y eliminación de lactato sanguíneo durante el entrenamiento es un balance conocido como maxLASS.⁷

El efecto del bicarbonato en la eliminación del lactato muscular puede tener implicaciones para los caballos que trabajan intensamente. Esto se observa en el ciclo de Cori o Ciclo glucosa-lactato-glucosa (Figura 1.2.) que sirve como un mecanismo metabólico muy efectivo para transportar energía (calorías) derivadas de la grasa, en forma de glucosa, a los tejidos periféricos que oxidan glucosa (glicolíticos), los cuales a su vez envían de regreso el producto de tal oxidación, el lactato, al hígado para la resíntesis de glucosa.³⁶

El lactato y los iones hidrógeno H^+ pueden ser causantes del daño muscular y dolor post-ejercicio. Por lo tanto, el bicarbonato impide la fatiga producida por la acidosis intramuscular.^{8,9}

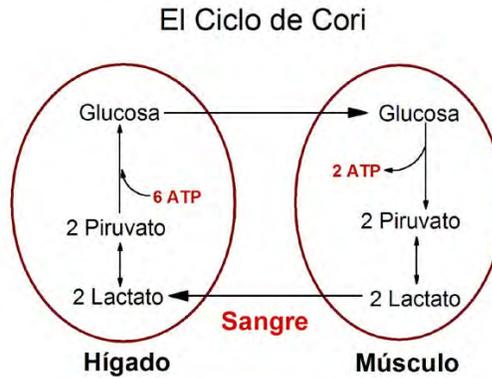


Figura 1.2. Ciclo glucosa-lactato-glucosa, denominado ciclo de Cori.

Fuente: King Michael, 2013.

En los caballos que trabajan, la ruta principal de pérdida de iones fijos es el sudor producido con la finalidad de evitar la excesiva elevación de la temperatura corporal. En caballos sanos, el peso vivo desciende 5-9 % principalmente por las pérdidas por evaporación. La magnitud de las pérdidas depende del grado de entrenamiento, la disponibilidad de agua y electrolitos durante el ejercicio.¹⁰ (Cuadro 1.1.)

Cuadro 1.1.

Índice de sudoración, concentraciones de iones (mmol/L) y osmolalidad (mOsm/kg) en caballos sometidos a dos intensidades de ejercicio y tres diferentes condiciones ambientales después de 10 min de ejercicio.

Variable	Frío-seco CD high=ejercicio intenso	Frío-seco CD low=ejercicio leve	Caliente-seco HD	Caliente-húmedo HH
Sodio	124 ± 6.7	116.7 ± 6.1	133.6 ± 2.3	130.6 ± 1.7
Potasio	25.8 ± 2.1	32.6 ± 1.4	41.5 ± 1.1	28.1 ± 0.9
Cloro	142 ± 5.6	144.3 ± 4.3	155.8 ± 3.2	149.5 ± 2.9
Osmolalidad	313 ± 18	303 ± 6	339 ± 6	327 ± 5
Sudoración (ml/m ² /min)	40.4 ± 3.7	21.1 ± 5.2	32.8 ± 5.1	27 ± 6.2

CD (temperatura de 20°C, humedad relativa de 45-55%); HD (temperatura de 32-34°C, humedad relativa de 45-55%); HH (temperatura de 32-34°C, humedad relativa de 80-85%)

Fuente: McCutcheon LJ, 1995.

La deshidratación por sudoración implica la pérdida de agua y electrolitos con una concentración del volumen de líquidos orgánicos. El ejercicio prolongado con un mínimo consumo de agua produce deshidratación y precipita una reducción sustancial en la concentración de cloro en el plasma; ocurren pocos cambios en las concentraciones de potasio y sodio, aunque se puede presentar la hipokalemia. El trabajo prolongado, durante un clima seco y caluroso, en un caballo de 450-500 kg de peso tiene pérdidas de hasta 35 litros de agua. Los complementos de electrolitos se administran durante las pruebas de resistencia con la finalidad de reemplazar parcialmente las pérdidas; la vía endovenosa produce manifestaciones tóxicas en la función del músculo cardiaco debido a las cantidades

excesivas de potasio. Por lo tanto, en dichos complementos la cantidad de sodio debe ser el doble al potasio y 1.2 veces más cloro que sodio.¹⁰

Los caballos deben tener acceso al agua frecuentemente durante el trabajo prolongado, dejándolos como mínimo 2 min en cada toma. En tiempo muy caluroso es recomendable que beban al menos cada 2 h. La deshidratación suele ir acompañada de fatiga, temblores musculares, cólicos entre otros signos. En ocasiones, a los caballos gravemente deshidratados se les administra por vía endovenosa, una solución al 5 % de glucosa-electrolitos, vigilando el ritmo cardiaco, si se tienen dudas acerca de la capacidad de absorción de líquidos en el intestino.¹⁰

Se recomienda que después del trabajo intenso, el caballo debe refrescarse mediante ejercicios suaves de los músculos, haciéndole pasear, pero no se debe permitir el consumo de heno. Tras el período de relajación de 1- 1.5 h, se administrará agua tibia antes de proporcionar una comida ligera de concentrados.¹⁰

1.1 Cambios en los electrolitos durante el ejercicio.

Los cambios transitorios en la concentración intra y extra celular de iones en ejercicios de alta intensidad son debidos al movimiento de fluidos y al intercambio de iones entre la sangre y los tejidos. Los efectos del ejercicio en los electrolitos séricos reflejan la intensidad y duración del esfuerzo. Por lo tanto, las mayores pérdidas se observan en animales que realizan ejercicio de larga duración (carrera de resistencia), pero también puede afectar a otros equinos bajo condiciones medioambientales de temperatura y humedad elevadas.¹¹

Todos los electrolitos contribuyen a la presión osmótica de los fluidos corporales, una variable que es regulada estrechamente para prevenir la deshidratación o hinchazón celular. Durante el ejercicio, el caballo puede perder grandes cantidades de volumen hipertónico a través del sudor, los cambios dramáticos pueden comprometer la función celular. Por lo cual se ve afectada la estabilidad cardiovascular y una reducción en el retorno venoso y gasto cardíaco. La defensa de la osmolalidad plasmática involucra una respuesta integradora de sistemas múltiples: cardiovascular, neural, endócrino y renal. Los cambios plasmáticos son detectados por las células especializadas del núcleo paraventricular y supraóptico del hipotálamo. Estos osmoreceptores son sensibles a pequeños cambios de 2mOsm/L, que a su vez pueden producir en estos mismos núcleos cambios en la síntesis y secreción de la hormona antidiurética o arginina vasopresina por la pituitaria posterior; induciendo la corrección del déficit de volumen y los cambios en la concentración de sustancias activas osmóticamente debido a la pérdida de agua o electrolitos plasmáticos en el sudor. Así mismo, la vasopresina central estimula el reflejo de la sed y el consumo de líquido que contribuye al balance hídrico y la osmolalidad.⁴

La interacción entre los elementos minerales es de suma importancia, debido a que unos dependen de la función de otros para mantener una relación adecuada. La extrusión activa del sodio por medio de la enzima sodio-potasio adenosin trifosfatasa (Na-K ATPasa) que interviene en la bombeo de sodio y potasio, permitiendo el acceso del ión de potasio al fluido intracelular.¹²

Las interacciones entre sodio, potasio, calcio y magnesio también son importantes en las funciones de membranas excitables en el nervio y en el músculo porque afectan los potenciales de reposo y acción, así como la liberación de neurotransmisores.²⁰

1.2 Potasio

El rango en reposo de la concentración plasmática de potasio (K^+) es de 3.2 a 4.2 mmol/L; durante el ejercicio puede llegar a 10 mmol/L. El ejercicio a máxima velocidad, el flujo transmembranal de K^+ desde el interior de la célula, produce hiperkalemia.¹¹

La concentración plasmática de potasio es proporcional a la intensidad del ejercicio, a la masa muscular y a la concentración de lactato plasmático en el hombre y en el equino. El principal mecanismo para la salida de K^+ desde las fibras musculares reclutadas es la activación de los canales de K^+ a nivel del sarcolema asociadas a las concentraciones de Calcio (Ca^{++}). La liberación del potasio permite la vasodilatación de los músculos durante el ejercicio y al salir de la fibra muscular tiene un efecto benéfico debido a que contrarresta el flujo osmótico dentro de las células al comienzo de la contracción. El descenso intracelular de K^+ en el músculo esquelético en contracción y el incremento extracelular de éste, contribuyen con la fatiga muscular durante el ejercicio de alta intensidad debido a la alteración del potencial de membrana.¹¹

Al cesar el ejercicio, el K^+ es transportado hacia el interior de la célula muscular por la bomba de sodio y potasio ATPasa del sarcolema en forma sumamente rápida, y produce una caída de K^+ extracelular por debajo de la concentración en reposo; aunque la concentración de hidrógeno aún permanece alta. Estudios recientes sugieren que el incremento de las catecolaminas durante el ejercicio tendría efectos cardioprotectores para prevenir los efectos arritmogénicos de la hiperkalemia.¹¹

1.3 Sodio

Este elemento es considerado el principal catión en la hidrósfera. Se combina directamente con los halógenos (con el cloro es abundante) y fósforo. El cloro actúa como un aceptor de electrones. La combinación de sodio (Na^+) y cloro (Cl^-) forman la sal común que se encuentra distribuida en la naturaleza. El cuerpo del animal contiene 0.2% de sodio.

Los iones de sodio y cloro se absorben en el intestino grueso. Aproximadamente, el 80 % de Na^+ y Cl^- entran al tracto gastrointestinal y surge de secreciones internas: saliva, fluidos gástricos, bilis y jugo pancreático.²¹ Su excreción ocurre principalmente en la orina como sal, en pequeñas cantidades se desechan en heces y transpiración. También se puede excretar por la leche; ocurre pérdida excesiva cuando hay vómito, diarrea o sudoración profusa.

Además, los iones de sodio deben estar presentes en el lumen del intestino delgado para la absorción de azúcares y aminoácidos.²² Por lo tanto, cuando el sodio es insuficiente disminuye la utilización de proteínas y energía.¹³

Los valores de sodio plasmáticos en reposo son de 134- 144 mmol/L y para el cloro de 94- 104 mmol/L. El descenso de sodio en la concentración plasmática, con el ejercicio intenso podría ser explicado por el incremento en la concentración de sodio muscular, la cual puede llegar a duplicarse y se debe a la activación del contra-transportador de H^+/Na^+ . Mientras que el descenso en la concentración plasmática de Cl^- y el incremento en la concentración intracelular de Cl^- en los glóbulos rojos durante el ejercicio es debido al intercambio entre cloro y bicarbonato, el cual sirve para reducir la acidosis plasmática.¹¹

1.4 Calcio y magnesio

Estos elementos minerales son electrolitos críticos. Así el calcio muscular se encuentra en el retículo sarcoplásmico tubular y participa en el proceso de excitación para producir la contracción del músculo. El magnesio es un cofactor importante para activar algunas enzimas en reacciones de las vías metabólicas.¹²

Los valores plasmáticos en reposo de magnesio son 38.88-48.6 ug/ml y de calcio son 111.82-129.05 ug/ml.²¹ La hipocalcemia e hipomagnesemia están presentes en caballos con enfermedad gastrointestinal y endotoxemia. Este déficit no es posible calcularlo, por lo tanto se deben de suplementar.²³

1.5 Adaptaciones fisiológicas corporales ante la pérdida de fluidos y electrolitos

En un trabajo de moderada intensidad, el limitado volumen circulatorio y gasto cardiaco causan alteraciones transitorias en el volumen de llenado cardiaco y presión arterial media, lo cual es percibido por los receptores cardiopulmonares de alta presión (barorreceptores). El control de la presión arterial media durante el incremento en la intensidad del ejercicio, hace necesario el desvío de sangre fuera de los tejidos no obligatorios: lechos vasculares, renal y esplácnico. Los factores neuroendocrinos (catecolaminas, actividad de renina plasmática, vasopresina) inducen un incremento en el tono vascular de los lechos vasculares y renal cuando la intensidad del ejercicio es superior al 50 o 60 % del consumo máximo de oxígeno (VO_2max) y en muchos casos antes de que se presente alguna pérdida sustancial de sudor. Este ajuste en la función cardiovascular y el flujo sanguíneo renal aparece inicialmente como respuesta al estrés del ejercicio más que por el desequilibrio hidroelectrolítico.¹¹

Durante el desarrollo del ejercicio, la sudoración induce una reducción en el agua corporal total, mientras éste avanza, las pérdidas de agua causan deshidratación celular progresiva. La deficiencia de fluido celular resultante lleva a un descenso en la función celular, fatiga y falla en la termorregulación. Junto con una marcada producción de sudor se produce una pérdida de electrolitos, la cual estimula respuestas neuroendocrinas que intentan corregir la concentración de estas sustancias vitales.¹¹

Los requerimientos de elementos minerales del caballo atleta pueden variar dependiendo de varios factores: etapa e intensidad del entrenamiento y manejo de los animales. (Cuadro 1.5.1 y 1.5.2). Para cuantificar dichos requerimientos se necesita conocer la pérdida en el sudor durante el ejercicio; la mejor manera, es realizar mediciones del peso corporal antes y después del ejercicio, que refleja la pérdida por el sudor. En el NRC 2007 no se contemplan los factores ambientales, debido a que se manejan los valores relacionado con el tipo de trabajo (intensidad) y es importante considerar este factor debido a que los caballos que realizan ejercicio en clima caluroso tienden a sudar más que los que se ejercitan en clima frío.²⁵

Cuadro 1.5.1.

Concentración de electrolitos séricos sanguíneos de caballos.

Elemento mineral	Concentración plasmática de electrolitos (mg/L)	Concentración de electrolitos sérico sanguíneo (ug/ml)
Sodio	3,068	3033-3355
Potasio	125	93.8-218
Magnesio	16	38.88-48.6
Calcio	108	111.82-129.05

Fuente: Committee on Nutrient Requirements of Horses, 2007.

Cuadro 1.5.2.

Concentración electrolítica sérica (ug/ml) basal de los caballos en estudio.

Elemento mineral	Ejercicio leve posejercicio	Ejercicio moderado	Ejercicio intenso	Concentración basal de electrolitos . ²¹	Diferencia
Sodio	1967	1819	2314	3033-3355	Def.
Potasio	222	104	125	93.8-218	Exc. (leve)
Magnesio	12	14	12	38.88-48.6	Def.
Calcio	51	49	45	111.82-129.05	Def.

Def.=deficiencia; Exc.=exceso.

1.6 Proceso de termorregulación

La termorregulación en el equino es muy importante, porque al realizar un tipo de ejercicio se incrementa la temperatura corporal 2-3°C. Esto se presenta ante la utilización y generación de la energía extraída de los diferentes sustratos energéticos: carbohidratos y lípidos principalmente. Cuando ocurre una falla en dicho mecanismo la temperatura puede exceder los 42°C que desencadena un choque térmico.²⁶ La termorregulación es controlada por las neuronas hipotalámicas (porción anterior) y los receptores térmicos en la piel que envían la señal química. Existen algunos factores que alteran este proceso durante el ejercicio, incluyen el color y la densidad del pelo debido a que el pelaje claro refleja la luz solar un 42%, mientras que el pelaje oscuro refleja solo un 10 %, por lo tanto se modificarán la absorción y evaporación del calor.^{4,5}

El principal mecanismo de disipación del calor es la evaporación, por medio del sudor y secreciones de las vías respiratorias, por el cual las moléculas de líquido adquiridas en la energía cinética se transforman en vapor. Por lo tanto, el caballo depende de la sudoración (85%) y de la pérdida de calor a nivel respiratorio (15%) para disminuir su temperatura,

debido a que el calor generado en los músculos es transportado hacia la sangre y posteriormente al ambiente.²⁷

Los músculos de los equinos son resistentes a cambios de pH. Durante el ejercicio máximo, la producción de protones excede la capacidad amortiguadora (buffer) y la célula muscular es acidificada. Esta acidificación tiene efectos positivos que permiten una rápida conducción de impulsos neuronales para mantener la excitabilidad. La acidosis intracelular y la fatiga muscular son asociadas durante el ejercicio de alta intensidad que incrementa la concentración de iones hidrógeno reduciendo la sensibilidad del calcio de las proteínas contráctiles.^{5, 26}

La sudoración aparece por estimulación por vía humoral de receptores β_2 adrenérgicos en las glándulas sudoríparas o por la liberación inicial de adrenalina por algún estímulo relacionado al incremento de la temperatura central.²⁶ La glándula sudorípara es el principal órgano termorregulador, está formada de 2 capas de queratinocitos; se localiza en la dermis en la capa interna del epitelio secretor con células mioepiteliales y rodeada por una vaina fenestrada de fibrocitos que encierran una capa de tejido conectivo.²⁶ Las glándulas sudoríparas son controladas por el sistema nervioso simpático, con dos tipos de receptores: α_1 que permiten la producción de mínima secreción localizada, mientras que los M producen la secreción generalizada, abundante y diluida.²⁸

La laterina es una proteína no glicosilada y altamente tensioactiva, y su función es promover la extensión y evaporación del sudor. Se encuentra localizada en forma de gránulos en las células de la región del fondo de la glándula sudorípara, y ocurre la exocitosis durante el proceso de sudoración.²⁴

La sudoración induce una reducción en el agua corporal total que ocasiona una deshidratación celular progresiva y produce una disminución en la función celular, fatiga y falla en el mecanismo de termorregulación.¹¹

La ruta principal de pérdida de iones fijos en los caballos que trabajan, es el sudor para evitar la excesiva elevación de la temperatura corporal. El peso corporal desciende 5-9 % principalmente por las pérdidas por evaporación, pero la magnitud de las pérdidas depende del grado de entrenamiento, la disponibilidad de agua y electrolitos durante el ejercicio. La concentración de iones en el sudor es un reflejo de la tasa de sudoración y están sujetos a las alteraciones en las condiciones ambientales e intensidad del ejercicio (Cuadro 1.1.)^{26, 34, 35}

En un caballo de 500 kg de peso, se pierden 8 kg de sudor al día, por esto debería recibir 38g de sodio o aproximadamente 100g de sal (cloruro de sodio) al día. Considerando que la disponibilidad del sodio es de 90%, se recomienda administrar 50-60g de sal al día.²⁹ Se ha reportado que bajo las condiciones mencionadas, la modificación del sudor en cuanto a su composición permite mantener las elevaciones de la temperatura durante el ejercicio repetido con una intensidad de moderado a intenso. También, se genera la producción de calor metabólico en el músculo esquelético que puede limitar la capacidad del ejercicio.³⁰

Durante el ejercicio, ocurren una serie de cambios fisiológicos en el organismo del equino para mantener su equilibrio hidroelectrolítico y temperatura corporal. Al inicio se presenta un incremento de la presión arterial media y presión hidrostática capilar que ocasiona la expulsión de agua, electrolitos y una pequeña cantidad de proteínas desde el compartimiento vascular.¹¹

El movimiento de fluidos es por la acumulación intramuscular de metabolitos osmóticamente activos tales como fosfatos, creatina y lactato. Además, se presentan cambios en la concentración de potasio, sodio y cloro. El lactato al parecer determina el incremento del agua y por la presión osmótica que hacen a las fibras glucolíticas tipo IIX más grandes.¹¹

Las concentraciones de los electrolitos séricos reflejan la intensidad del ejercicio y duración de esfuerzo, que se modifican por el grado de pérdida a través del sudor, esto se presenta con frecuencia en animales que realizan ejercicios de larga duración (carrera de resistencia) o en condiciones ambientales de temperatura y humedad elevadas.¹¹

1.7 Funciones de los electrolitos

La modificación de la concentración plasmática de potasio es proporcional a la intensidad del ejercicio, masa muscular y concentración de lactato en el hombre y en el equino. El descenso del potasio intracelular e incremento extracelular contribuyen con la fatiga muscular en el ejercicio de alta intensidad. Al término del ejercicio, el potasio es transportado hacia el interior de la célula muscular por la bomba de sodio-potasio-ATPasa del sarcolema a nivel muscular en forma rápida. Esto produce una disminución de potasio extracelular por debajo de la concentración de reposo y permanece la concentración de iones hidrógeno elevada.¹¹

Durante la realización de ejercicio intenso ocurre un incremento de sodio muscular por lo tanto disminuye la concentración plasmática de sodio. Mientras, que la disminución de la concentración plasmática de cloro ocurre debido al aumento de la concentración intracelular de cloro en los glóbulos rojos.¹¹

Las principales adaptaciones fisiológicas que lleva a cabo el caballo ante el ejercicio se presentan en los sistemas cardíaco, respiratorio, renal y de termorregulación. Se incrementa la demanda de oxígeno, debido a la alta generación y consumo de energía, se activa el sistema nervioso simpático para aumentar la esplecnocontracción, en la que el organismo utiliza las reservas de eritrocitos como fuente de nutrientes celulares.

1.8 Cambios metabólicos sanguíneos y sistemas de compensación

La respuesta de estrés inducida por el ejercicio es un ajuste en la función cardiovascular y el flujo sanguíneo renal. Ocurre un control de la presión arterial media que permite que la sangre sea desviada fuera de los tejidos no obligatorios: lechos vasculares, renal y esplácnico, donde se incrementa el tono vascular. Existen diversas hormonas que afectan el balance hidroelectrolítico durante la realización del ejercicio, se incluyen el sistema Renina angiotensina aldosterona, vasopresina u hormona antidiurética, catecolaminas.¹¹

La vasopresina u hormona antidiurética se incrementa a nivel plasmático considerablemente cuando el equino está ejercitándose. Una de sus funciones es controlar la presión sanguínea y produce una vasoconstricción. El valor de la vasopresina es de 4 ± 3 pg/ml en reposo, 95 ± 5 pg/ml a una velocidad de 10 m/s.¹¹

Mientras que la actividad de la renina plasmática, durante el ejercicio, es un estimulante para generar angiotensina I y II considerados como vasoconstrictores que controlan la presión arterial media. La angiotensina II estimula la producción y liberación de aldosterona que favorece la reabsorción de sodio y retención de agua.¹¹

1.9 Lactato

Después de realizar ejercicio, la concentración sanguínea de lactato se incrementa y alcanza el pico de 2-10 min pos-ejercicio. En muestras recolectadas de dos caballos, 5 min después de una carrera de 2 100m, la concentración de lactato en la sangre fue de 18.7 -18.8 mmol/l.^{31, 32} Los caballos son capaces de tolerar concentraciones más altas de lactato sanguíneo que los humanos: en caballos puede alcanzar los 35 mmol/l comparado con 25 mmol/l en humanos.²⁷ El consumo de lactato se lleva a cabo en el músculo esquelético debido a la oxidación de lactato en todos los tipos de fibras musculares durante el periodo de recuperación.⁴ (Figura 1.1.)

El ciclo glucosa-lactato-glucosa, denominado ciclo de Cori, es un mecanismo metabólico efectivo donde el lactato que sale de la fibra muscular es transportado por la sangre hasta el hígado para la resíntesis de glucosa.^{8, 11, 33} (Figura 1.2.)

El lactato es metabolizado en dióxido de carbono y agua en los tejidos oxigenados o se recicla en forma de glucosa y glucógeno en el hígado, riñón y células musculares inactivas. El lactato y los iones hidrógenos producidos durante el metabolismo anaeróbico pueden ser causantes de los siguientes efectos pos-ejercicio: daño muscular y dolor. Los iones hidrógenos son amortiguados intracelularmente incluyendo las proteínas y extracelularmente por el bicarbonato.²⁶

Por lo tanto, el bicarbonato impide la fatiga producida por la acidosis intramuscular, debido a que participa en la eliminación del lactato (músculo a la sangre) pero puede tener implicaciones para los caballos que trabajan intensamente.^{8,9} En dichos caballos, induce una acidosis prolongada y acidemia con una disminución del pH venoso y arterial, así como un exceso de base y provocan un decremento de la concentración arterial de bicarbonato y un incremento de la tensión dióxido de carbono en la sangre venosa. Mientras, que en el

ejercicio con periodos cortos de tiempo, la acidosis es tolerable. La resolución de la acidosis respiratoria ocurre de segundos a minutos después de terminar el ejercicio, sin embargo la acidosis metabólica es baja y se resuelve de 30 a 60 min.²⁶

La importancia de la realización del presente estudio es identificar los cambios de los electrolitos séricos y del lactato sanguíneo. Así como determinar la concentración de los elementos minerales en el alimento para comprobar si cubren las necesidades posteriores al ejercicio. Lo cual propiciará que el organismo del équido funcione adecuadamente.

Justificación

La identificación de los cambios en la concentración de los electrolitos sanguíneos y del lactato, derivados de la intensidad del ejercicio, demandará una aportación específica de estos electrolitos en el abrevadero, por vía oral o en la dieta para el óptimo rendimiento del caballo en el Valle de México.

Una vez conocidos los cambios en la concentración de los electrolitos sanguíneos, se podrá sugerir su complementación ya sea en el agua de bebida o por solución oral o complementación alimenticia correctiva.

II.- Material y métodos.

2.1 Animales

Este estudio preliminar (observacional) se realizó en las instalaciones de la Unidad de Policía Metropolitana Montada de la Secretaría de Seguridad Pública del Gobierno del Distrito Federal, de Mayo a Septiembre de 2012. Se utilizaron 39 caballos para formar tres grupos. Cada grupo se clasificó dependiendo de la intensidad del ejercicio: leve (n=9), moderado (n=20) e intenso (n=10) (Cuadro 2.1.1.)

Cuadro 2.1.1.

Características de los grupos de caballos según la intensidad del ejercicio.

Función zootécnica	Tiempo (min)	Número de caballos	Observaciones	Nivel de intensidad
Potros	7	5	Ejercicios de Domesticación	Leve
Yeguas con potro	300	2 yeguas 2 potros	Ejercicio libre	Leve
Sementales	20	4		Moderada
Equinoterapia	300	6	Con intervalos de descanso	Moderada
Doma temprana	15	2	Trabajo individual	Moderada
Doma temprana	7	3	Trabajo en manada	Moderada
Desfile	90	5		Moderada
Salto	90	4		Intensa
Doma	45	6		Intensa

Para llevar a cabo la clasificación de las intensidades del ejercicio se consideraron las siguientes variables: tipo de actividad física y duración del ejercicio. A continuación se describen los tres tipos de intensidad.

Ejercicio leve.

a) Ejercicio libre que fue considerado como leve. Las yeguas con sus potros permanecen en el corral abierto durante 300 min (5 h), donde caminan, retozan; se les ofrece pastura y agua. Otros potros realizan ejercicios de impronta controlados por el Médico Veterinario Zootecnista, que consisten en manejar al caballo con el cuerpo para conocer, acercarnos y domar al caballo sin necesidad de recurrir a la violencia.

Ejercicio moderado.

- a) Los potros de doma temprana y sementales realizan ejercicio a la cuerda (paso y trote).
- b) En el área de equinoterapia realizan movimientos de paso y trote con niños montados en su lomo.

Ejercicio intenso.

- a) Los caballos de doma realizan diversas actividades entre ellos paso, trote y galope. Mientras los caballos que participan en el desfile interno de la institución realizaron una serie de ejercicio dentro de su programa de entrenamiento (paso, trote).
- b) Los caballos de salto realizan ejercicios de paso, trote y galope como calentamiento. Después pasan por obstáculos a determinada altura asignados por su jinete y entrenador.

2.2 Colección de muestras

La colección de muestras de sangre se realizó antes (considerada como basal), cinco y sesenta min después del ejercicio para la medición del lactato y los electrolitos. El sitio de la colecta fue la vena yugular y posteriormente se realizó la separación del suero. Mientras que las muestras de alimento concentrado (200g) y heno de avena (200g) fueron colectadas a partir de la paca y del costal de alimento.

2.3 Dieta

Alimento supercampeón: Caballos en trabajo intenso 3 kg repartido en 2 raciones (4 y 14 h). Caballos en trabajo moderado 2 kg. Caballos en mantenimiento o reposo (sin realizar ejercicio) 1.5-2 kg.

Alimento Nucleus: Yeguas 500 g, potros de 7 y 8 meses de edad 500 g.

Forraje: Media paca de avena en greña 4 kg. Alfalfa achicalada 3 kg.

2.4 Registro de datos y análisis de laboratorio

La medición de la temperatura corporal se realizó con un termómetro digital en la zona rectal. Se midió antes del ejercicio (basal), a los 5 y a los 60 min posejercicio. El análisis del lactato en sangre fue por medio de una técnica colorimétrica en un lactómetro portátil.³⁷ Así mismo, se midió antes del ejercicio (basal), a los 5 y 60 min posejercicio. En el suero sanguíneo se determinaron: sodio, potasio, calcio y magnesio.

En el alimento se analizó el contenido de los elementos minerales. La técnica que se utilizó para la medición de los elementos minerales en el suero y en el alimento fue la espectrometría de emisión y absorción atómicas.³⁸ Las muestras de suero sanguíneo se conservaron en congelación hasta la medición de los elementos minerales. Posteriormente,

se descongelaron y se diluyeron con agua desionizada y desmineralizada para identificar la concentración en el espectrómetro de emisión atómica para sodio y potasio y de absorción atómica para calcio y magnesio. Las características de operación del equipo para la medición de cada uno de los elementos minerales fueron las especificadas en el manual de operaciones del equipo según el Manual del fabricante.³⁸ La concentración de cada uno de los elementos minerales se obtuvo al transformar la absorbancia observada en el equipo en concentración por medio de una regresión lineal hecha con concentraciones conocidas. La concentración final del electrolito sanguíneo y del elemento mineral en el alimento se obtuvo al multiplicar la concentración inicial de cada elemento por el factor de dilución y dividido entre el tamaño de la muestra, que se expresa en microgramo/mililitro o por gramo según el estado físico de la muestra (g/ml).

2.5 Análisis estadístico

Los cambios de temperatura y de lactato se evaluaron en gráficas descriptivas, por el tiempo: antes (basal) y después del ejercicio. Los promedios de cada punto de muestreo se compararon entre sí.

Para el análisis de los resultados, las concentraciones se agruparon por intensidad del ejercicio y tiempo de muestreo (basal, 5 y 60 min posejercicio). Uno de los métodos para evaluación de los resultados fue descripción en gráficas y análisis de varianza, t de student y prueba de Tukey (ANOVA, Student y Tukey) para identificar diferencias por intensidad de ejercicio y tiempo de muestreo post ejercicio. El análisis de los electrolitos consistió en la caracterización descriptiva y cuantitativa, seguida de una evaluación multivariada de los grupos de caballos que realizaron diferentes intensidad del ejercicio. Los grupos se dividieron en intensidad de ejercicio leve, moderado e intenso.

El análisis estadístico inició con las pruebas de distribución normal (Kolmogorov-Smirnov) y de homogeneidad de varianzas (Bartlett) aplicadas a la concentración de los electrolitos: Calcio, Sodio, Magnesio y Potasio. Los electrolitos se midieron en suero antes de realizar el ejercicio (basal), 5 min y 60 min después del ejercicio (recuperación). Ambas pruebas se incluyen en el paquete estadístico Prism 5.03 (GraphPad Software, Inc. USA).

Para cada electrolito se compararon los niveles de intensidad del ejercicio mediante análisis de varianza (ANOVA) seguido de la prueba de comparación múltiple de Tukey. De igual forma para el nivel de intensidad moderado, los distintos tipos de actividades realizados se compararon con ANOVA. En contraste, los dos tipos de actividad (salto y doma) asociados al nivel más alto de intensidad física se compararon mediante una *t* de Student para dos medias independientes.

Por otra parte, para obtener un análisis del cambio de la concentración de cada electrolito en los tiempos de evaluación se utilizó ANOVA de dos vías. El modelo incluyó el nivel de intensidad (leve, moderado e intenso) y el tiempo de evaluación (basal, 5 min y 60 min posejercicio). Adicionalmente, para tener una referencia más precisa del cambio de la concentración de los electrolitos, se construyeron graficas antes y después del ejercicio que presentan el porcentaje de cambio de la concentración durante la fase de recuperación y la medición basal.

Se utilizó un análisis de correspondencia para evaluar la asociación entre la intensidad del ejercicio y el cambio en los electrolitos. El análisis de correspondencia es una herramienta descriptiva multivariada muy útil para definir patrones de interacción entre variables categóricas. Para realizarlo se utilizaron las tres categorías de intensidad de ejercicio en conjunto con el cambio (incremento o decremento con respecto al nivel basal antes del ejercicio), en la concentración de cada electrolito medido una hora después de haber

realizado el ejercicio. Para lo anterior se obtuvieron las frecuencias en que los caballos asociados a una determinada intensidad presentaron al final del período de recuperación (60 min), un incremento o decremento en un determinado electrolito con respecto a su concentración basal.

Dentro del análisis de correspondencia, la asociación entre las variables estudiadas se definió a partir del cálculo de la distancia entre ellas medida mediante X^2 . Así para cada grupo de intensidad, el análisis de correspondencia calcula un puntaje para cada categoría (leve, moderado e intensa) con respecto a la combinación de las categorías de la concentración de electrolito (incremento o decremento), lo cual genera la dimensión 1 y 2 que a su vez definen escalas de variación y la dispersión de los grupos de caballos con respecto a la fuerza de asociación entre la intensidad del ejercicio y el cambio de la concentración del electrolito. La combinación de las dimensiones explicó la variación asociada a las observaciones. La representación gráfica de los caballos que realizan un tipo de intensidad dentro del análisis de correspondencia es por medio de puntos cardinales dispersos en las dimensiones definidas; cada punto es el resultado de los puntajes obtenidos con respecto a la asociación de las variables. Existe entonces una correspondencia directa entre la representación por puntos del tipo de intensidad y la concentración de un determinado electrolito. El análisis se realizó con el procedimiento Corresp de SAS 9.0 (Statistical Analysis System, SAS Institute, Cary, NC, USA). En todos los casos se consideró un nivel de $p < 0.05$ como significativo.

III. Resultados

3.1 Temperatura corporal

Los valores de temperatura corporal en caballos ejercitados se describen en el cuadro 3.1.1 y figura 3.1.1. Para su evaluación se obtuvieron los promedios de temperatura antes del ejercicio, a los 5 y 60 min posejercicio. También se agruparon de acuerdo a la intensidad de este. Lo sobresaliente en esta gráfica es que la temperatura se elevó a los 5 min dependiendo de la intensidad del ejercicio. En los caballos que realizaron ejercicio leve y moderado, el incremento de temperatura a los 5 min estuvo entre 0.5 °C. A los 60 min retornaron a sus valores basales. Sin embargo, las modificaciones experimentadas en los caballos de ejercicio intenso a los 5 min se elevó hasta 1.42°C pero la recuperación a los 60 min no había llegado a los valores basales debido a que la condición ambiental cambió, ya que el primer muestreo (temperatura basal) se realizó en la mañana, mientras que el muestreo a los 60 min posejercicio fue antes del mediodía.

Cuadro 3.1.1.

Variaciones promedio de la temperatura corporal (°C) en caballos por la intensidad del ejercicio.

Intensidad del ejercicio	Temperatura corporal basal	5 min posejercicio	60 min posejercicio
Leve	38.08	38.56	38.2
Moderada	37.29	37.74	37.39
Intensa	36.88	38.3	37.61

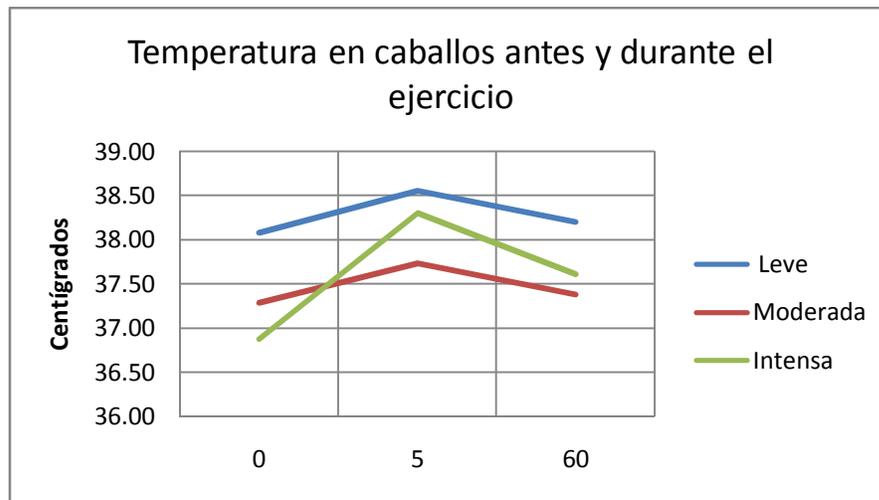


Figura 3.1.1. Promedio de la temperatura corporal (°C) antes (basal), a los 5 y 60 min posejercicio en grupo de caballos con diferente intensidad del ejercicio.

3.2 Lactato

Los valores de lactato sanguíneo en caballos ejercitados se describen en el cuadro 3.2.1 y figura 3.2.1. Para su evaluación se obtuvieron los promedios de lactato antes del ejercicio, a los cinco y sesenta minutos posejercicio. También se agruparon de acuerdo a la intensidad de este; lo sobresaliente en esta gráfica es que el lactato se elevó a los 5 min en la intensidad leve y moderada; mientras que en los caballos de ejercicio intenso fue mínima su modificación. En los caballos de leve y moderada, el incremento de lactato a los 5 minutos estuvo entre 0.55 y 2.05 mmol/L. A los 60 min tuvieron valores inferiores a los basales (2.68 y 2.37 mmol/L respectivamente) y esta diferencia fue de 0.55 y 0.35 mmol/L. Sin embargo, las modificaciones experimentadas en los caballos de ejercicio intenso a los 5 min se incrementaron hasta 0.12 mmol/L pero a los 60 min estuvo por arriba de los valores basales.

Estas modificaciones de lactato cuando son por arriba del valor basal describen que el metabolismo del caballo no está usando el lactato para la síntesis de energía como glucosa y los valores al término del ejercicio cuando son inferiores a los valores basales indican que el animal lo está utilizando para la síntesis de energía como glucosa.

Cuadro 3.2.1.

Concentración promedio (mmol/L) de lactato en caballos ejercitados.

Intensidad del ejercicio	Tiempo de muestreo 0 basal	5 minutos posejercicio	60 minutos posejercicio
Leve	3.23	3.78	2.68
Moderada	2.72	4.77	2.37
Intensa	2.1	2.22	2.53

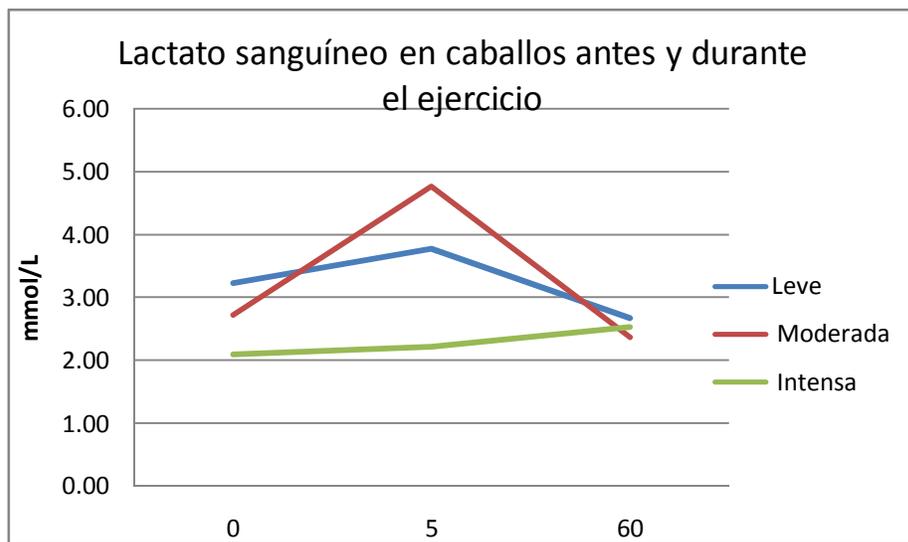


Figura 3.2.1. Concentración promedio del lactato sanguíneo (mmol/L) antes (basal), a los 5 y 60 min posejercicio en grupos de caballos con diferente intensidad.

3.3 Alimento

Los resultados de las concentraciones de elementos minerales en el alimento se encuentran descritos en el cuadro 3.3.1. Estos valores obtenidos se utilizaron para calcular el aporte que brinda la ración. Mientras que en el cuadro 3.3.2 se observa las necesidades de cada animal según el NRC, 2007.

Cuadro 3.3.1.

Elementos minerales en alimentos (mg/kg) que reciben los caballos en la prueba de intensidad del ejercicio.

Alimento	Ca	Mg	Na	K
Concentrado (a1) super campeón 12%	73.7108884	1279.78645	181.089884	8766.26041
Concentrado (a2) Nucleus	180.048434	2114.93015	393.817254	8120.06758
Paja de avena	117.712631	633.223583	547.453687	6181.48908
Alfalfa *	2093	1099	1863	17817

* Concentración promedio de minerales en muestras de alfalfa henificada del Centro de la República Mexicana. Análisis realizados en el Laboratorio de Toxicología del Departamento de Nutrición animal y Bioquímica.

Cuadro 3.3.2.

Requerimientos diarios de elementos minerales de los caballos según la intensidad del ejercicio (mg/kg PV).

Elemento mineral	Mantenimiento	Ejercicio leve	Ejercicio moderado	Ejercicio intenso
Ca	40	60	70	80
Mg	15	19	23	30
Na	20	28	36	50-82
K	50	57	64	78-106

Fuente: Committee on Nutrient Requirements of Horses, 2007.

En el Cuadro 3.3.3 se observa que en el grupo de ejercicio moderado solo presenta deficiencia de Calcio y exceso en los demás elementos evaluados. Además en todos los grupos cabe destacar que el aporte de potasio se encuentra incrementado. Las concentraciones de los elementos minerales en el alimento reflejan la cantidad de estos en el suero sanguíneo identificados como electrolitos séricos sanguíneos.

Cuadro 3.3.3.

Diferencia entre el aporte de elementos minerales (mg/kg) por el alimento y las necesidades señaladas por el NRC 2007 según la intensidad del ejercicio del caballo.

Ejercicio	Elemento mineral	Aporte mg/animal	Necesidades mg/animal	Diferencia por animal
Leve (350 kg P.V.)	Calcio	6 839	21 000	14 163 (Def.)
	Magnesio	6 887	6 650	237 (Exc.)
	Sodio	7 976	9 800	1 824 (Def.)
	Potasio	81 268	19 950	61 318 (Exc.)
Moderado (200 kg P.V.)	Calcio	6 896	14 000	7 104 (Def.)
	Magnesio	8 389	4 600	3 789 (Exc.)
	Sodio	8 141	7 200	941 (Exc.)
	Potasio	95 709	12 800	82 909 (Exc.)
Intenso (350 kg P.V.)	Calcio	28 862	28 000	862 (Exc.)
	Magnesio	9 669	10 500	831 (Def.)
	Sodio	8 322	17 500	9 178 (Def.)
	Potasio	104 476	27 300	77 176 (Exc.)

Def = deficiencia; Exc = exceso.

Fuente: Committee on Nutrient Requirements of Horses, 2007.

En el cuadro 3.3.4 se observan las diferencias de la concentración de los elementos minerales del alimento y del suero sanguíneo entre lo encontrado en este experimento con los de referencia. Las diferencias apuntan a que la concentración de sodio fue deficiente en el suero sanguíneo y en el alimento, excepto en los valores basales del grupo del ejercicio moderado. En el caso del potasio las diferencias apuntan a que siempre estuvo en exceso tanto en el suero como en el alimento. Las diferencias del magnesio en el suero y en el alimento del ejercicio intenso fueron deficientes, en el caso de los valores del alimento en el ejercicio leve y moderado estuvieron en exceso. En el caso del calcio, la diferencia de los valores fueron deficientes en el suero y en el alimento del ejercicio leve y moderado; en el ejercicio intenso estuvo en exceso.

Cuadro 3.3.4

Diferencia de las concentraciones de los elementos minerales en el suero sanguíneo y en el alimento de caballos entre las concentraciones encontradas y las de referencia.

Elementos minerales	Diferencia sérica Enc - Ref	Alimento Ejer Leve Enc - Ref	Alimento Ejer Moderado Enc - Ref	Alimento Ejer Intenso Enc - Ref
Sodio	Def	Def	Exc	Def
Potasio	Exc	Exc	Exc	Exc
Magnesio	Def	Exc	Exc	Def
Calcio	Def	Def	Def	Exc

Enc= encontrada; Ref= referencia; Def=deficiencia; Exc=exceso.

Fuente: Committee on Nutrient Requirements of Horses, 2007.

3.4 Análisis de las concentraciones basales de electrolitos sanguíneos

Los resultados de las pruebas sugieren que los datos se obtuvieron de una distribución normal (tipo Gaussiana) y que además presentaron homogeneidad, por lo cual cumplieron los supuestos para realizar análisis paramétricos. Para evaluar los cambios en la concentración de los electrolitos séricos se describen a continuación por cada elemento.

Calcio

La concentración basal de calcio medida en los tres grupos de intensidad del ejercicio resultó similar (Figura 3.4.1, panel A; $p > 0.05$). Dentro del grupo de intensidad moderada, las actividades de equinoterapia y doma temprana presentaron valores de calcio sérico basal significativamente diferentes (38.05 ± 3.6 y 69.91 ± 7.53 ug/ml, respectivamente; Figura 3.4.1B, $p < 0.05$). Mientras que en el grupo de ejercicio intenso los resultados basales de actividad física fueron similares ($p > 0.05$). Entre los grupos de caballos que realizaron diferentes intensidades de ejercicio, no se presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$) en la concentración de calcio sérico.

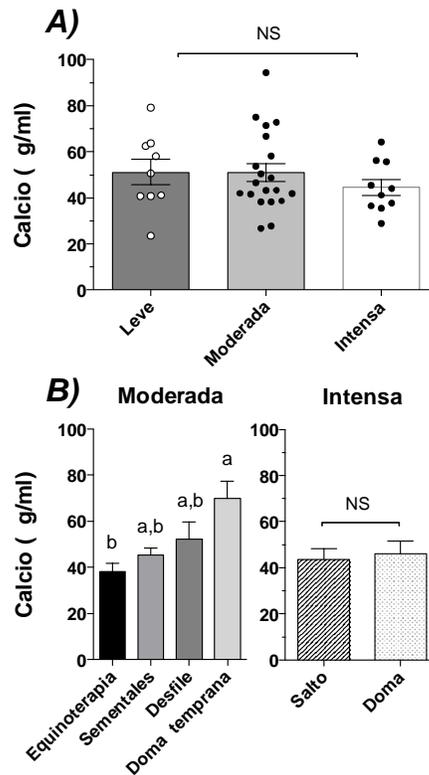


Figura 3.4.1.

Concentración basal de calcio sérico de caballos en diferentes intensidades de ejercicio.

En la figura 3.4.1 en el panel A se observa la concentración basal de calcio en suero sanguíneo de caballos destinados a tres intensidades de ejercicio resultaron sin diferencia estadística ($p > 0.05$). Mientras que en el panel B la comparación del contenido de calcio sérico basal entre grupos de caballos que realizan diferentes actividades físicas (función zootécnica) dentro del mismo tipo de intensidad del ejercicio, las distintas literales entre columnas indican diferencias significativas al nivel de $p < 0.05$. Los grupos de actividad física intensa se compararon mediante t de Student. ^{NS} Indica no significativa.

Magnesio

Entre los grupos de caballos que realizan diferentes intensidades de ejercicio, no se presentaron diferencias significativas (Figura 3.4.2, panel A; $p > 0.05$) en la concentración basal de magnesio sérico. Mientras que en el panel B se observa la comparación del contenido de magnesio sérico basal en caballos que realizaron diferentes actividades físicas dentro de los grupos de ejercicio moderado e intenso. Las literales iguales entre columnas indican que no existen diferencias significativas al nivel de $p > 0.05$. Los caballos de salto y doma del ejercicio intenso al comparar la concentración de magnesio basal mediante la prueba t de *Student* fueron no significativos.

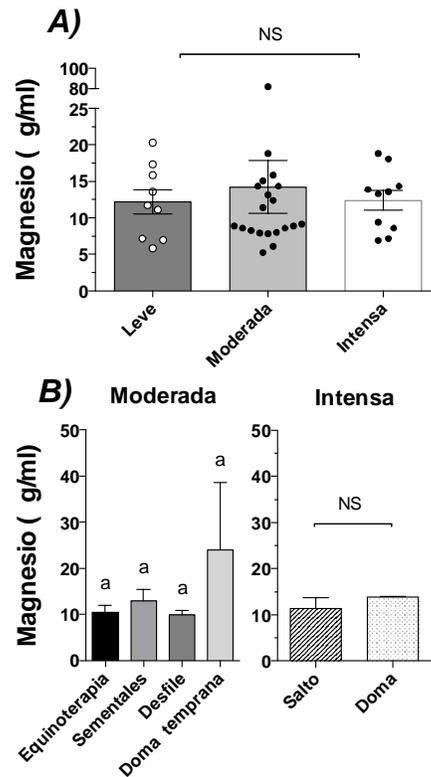


Figura 3.4.2.

Concentración basal de magnesio sérico de caballos en diferentes intensidades de ejercicio.

Sodio

Las concentraciones basales de sodio medida en los tres grupos de intensidad del ejercicio resultaron similares (Figura 3.4.3 A; $p > 0.05$). En el panel B, el grupo de ejercicio moderado, las concentraciones basales de sodio por actividades resultaron con valores similares ($p > 0.05$). Mientras que el grupo de ejercicio intenso, sí presentó diferencia entre las actividades de salto y doma ($p < 0.05$).

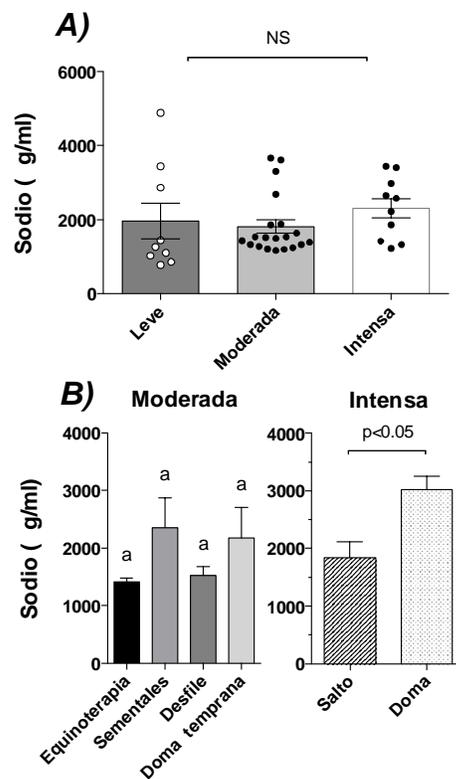


Figura 3.4.3.

Concentración basal de sodio sérico de caballos en diferentes intensidades de ejercicio.

Potasio

Se encontraron diferencias significativas entre el grupo de ejercicio leve comparado con los grupos de ejercicio moderado e intenso ($p < 0.05$) (Figura 3.4.4, panel A). En panel B, el grupo de caballos de salto y doma correspondientes al ejercicio intenso tuvieron valores basales con diferencia significativa en la concentración de potasio sérico ($p < 0.05$).

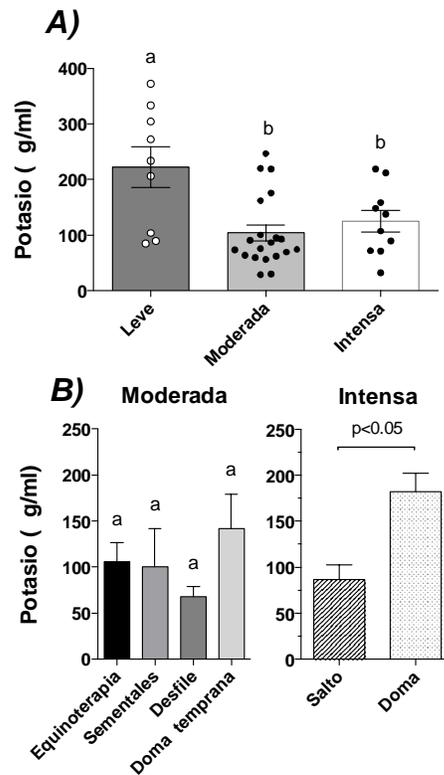


Figura 3.4.4.

Concentración basal de potasio sérico de caballos en diferentes intensidades de ejercicio.

3.5 Análisis de las concentraciones de electrolitos sanguíneos posejercicio

Para evaluar las variaciones de las concentraciones antes, a los 5 y 60 min posejercicio se expresan en las siguientes figuras.

Calcio

El grupo de caballos que realizó ejercicio intenso presentó una disminución de calcio a los 5 min, pero la recuperación a los valores basales la obtuvo a los 60 min. (Figura 3.5.1, panel A). Las concentraciones de calcio a los 5 min posejercicio, En el panel B se observa la comparación de la diferencia entre la concentración de calcio sérico basal y de recuperación a los 5 y 60 min posejercicio, donde los grupos leve e intenso tuvieron un incremento de 14 y 3 % respectivamente, pero después retornaron a sus valores basales a los 60 min (Figura 3.5.1).

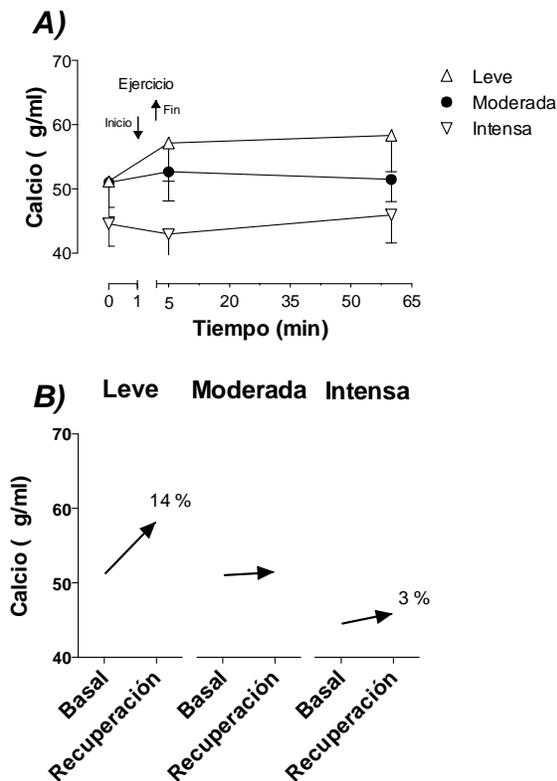


Figura 3.5.1. Concentración de calcio sérico en caballos antes y después del ejercicio.

Magnesio

Las concentraciones de magnesio sérico en los grupos de ejercicio leve e intenso se mantuvieron similares en los dos valores que se registraron después de la realización de este (Figura 3.5.2, panel A). Se observa en el panel B que la diferencia entre la concentración de magnesio sérico basal y de recuperación presentó porcentajes de disminución según el tipo de intensidad: leve (11 %), moderada (28%) e intensa (7%). Mostrando una disminución considerable en el grupo de intensidad moderada indicando una mayor pérdida de este elemento mineral.

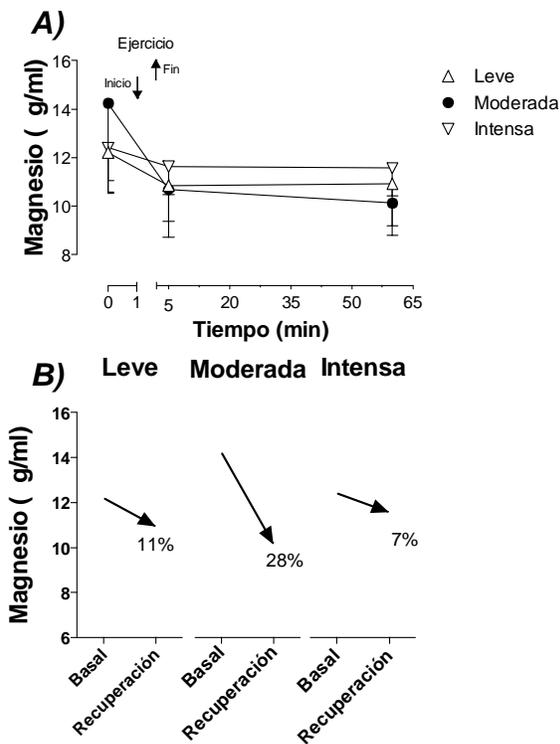


Figura 3.5.2.

Concentración de magnesio sérico en caballos antes y después del ejercicio.

Sodio

En la figura 3.5.3 se observa la concentración de sodio sérico sanguíneo en caballos que realizaron ejercicio moderado e intenso ocurre una disminución en el valor del muestreo de recuperación, retornando adecuadamente a los valores basales (panel A). La diferencia entre la concentración de sodio sérico sanguíneo del valor basal y el de recuperación, se incrementó un 10% en la intensidad leve del ejercicio, que no fue significativa ($p > 0.05$).

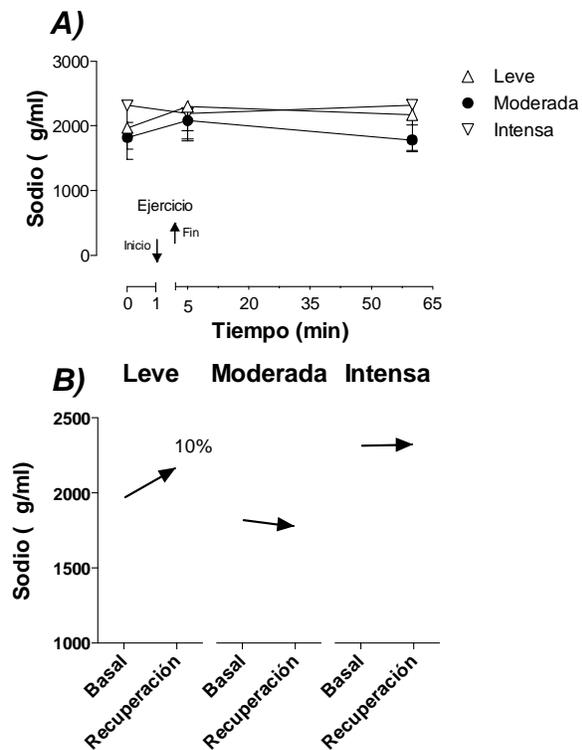


Figura 3.5.3.

Concentración de sodio sérico en caballos antes y después del ejercicio.

Potasio

Los caballos que realizaron ejercicio moderado e intenso respondieron de forma adecuada, retornando a sus concentraciones basales de potasio sérico a los 60 min pero los del ejercicio leve no retornaron a sus valores. (Figura 3.5.4, panel A). La comparación de la diferencia entre la concentración de potasio sérico basal y de recuperación en cada grupo de intensidad del ejercicio se observa en el panel B, donde las flechas indican la diferencia de la concentración del valor basal y a los 5 min pos-ejercicio. En el caso del potasio, la concentración presentó un decremento de 53% en el grupo de ejercicio leve. Esto fue significativo ($p < 0.05$).

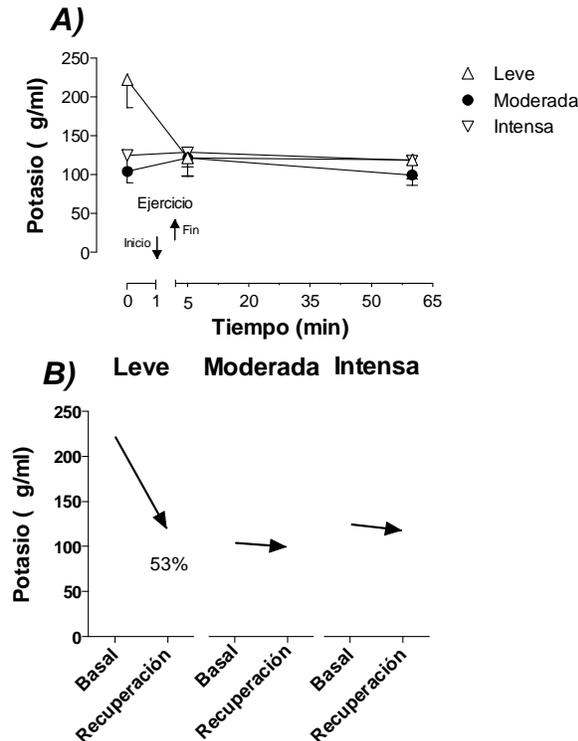


Figura 3.5.4.

Concentración basal de potasio sérico de caballos antes y después del ejercicio.

Para interpretar de forma integral la información obtenida en el presente experimento, se realizó un análisis de correspondencia a los 60 min posejercicio. Mediante el análisis de correspondencia es posible obtener una asociación de variables de tipo categórico-ordinal.

En este caso, en la figura 3.5.5 se observa la correspondencia entre la intensidad del ejercicio realizado por los caballos y el cambio en la concentración de los electrolitos medidos. Se presenta en las dos dimensiones del plano la posición de las intensidades (círculos), la concentración de electrolitos cuando sube (triángulos) o baja (triángulos invertidos) durante el período de recuperación con respecto al basal. La fuerza de asociación entre la intensidad física y el cambio en la concentración del electrolito se interpreta con relación a la posición de las variables y la distancia que separa a dos puntos adyacentes. Aquellas variables unidas mediante una línea sólida presentan la menor distancia y por lo tanto la mayor asociación. El círculo encierra un grupo de categorías asociadas.

Particularmente, la intensidad leve mostró una estrecha asociación con la disminución de la concentración de potasio y magnesio, así como un incremento en la concentración de calcio. A diferencia del ejercicio intenso que se relacionó con un decremento en la concentración de calcio y un aumento en el potasio. Resulta interesante que la intensidad moderada únicamente se asocia a una disminución en la concentración de sodio.

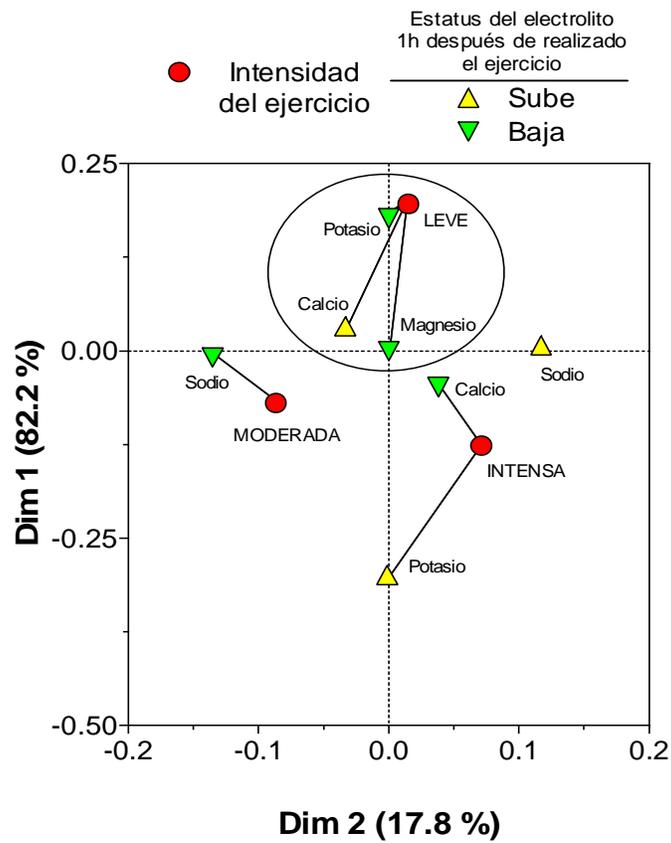


Figura 3.5.5. Análisis de correspondencias de la asociación entre la intensidad del ejercicio: leve, moderado e intenso y el cambio (sube o baja) de la concentración de electrolitos sérico sanguíneos en caballos que realizan diferentes intensidad de ejercicio.

IV. Discusión

La importancia en la medición de electrolitos en el suero sanguíneo es debido a que en este tipo de muestra se ve reflejado el estado de salud del animal. Mientras que al analizar estos elementos minerales en el sudor y orina solo sería una medición indirecta porque son las vías de excreción. Esta pérdida de electrolitos estimula una variedad de respuestas endocrinas que intentan corregir la concentración de estas sustancias vitales.¹¹

El proceso de termorregulación en el equino es de gran importancia durante la realización del ejercicio, debido a que ocurre un incremento de la temperatura corporal de 2-3°C. Cuando existe una deficiencia en este mecanismo, la temperatura puede exceder los 42°C, desencadenando un choque térmico y/o una enfermedad.²⁶ La sudoración profusa induce una reducción en el peso corporal y en el agua corporal total que ocasiona una deshidratación celular progresiva produciendo una reducción en el agua corporal total que ocasiona un descenso en la función celular, fatiga y falla en la termorregulación. En este estudio los valores registrados de temperatura corporal de los caballos reflejan un adecuado sistema de termorregulación.

El peso corporal desciende 5-9 % principalmente por las pérdidas por evaporación, pero la magnitud de las pérdidas de elementos minerales depende del grado de entrenamiento, la disponibilidad de agua y electrolitos durante el ejercicio.¹⁰

La concentración sanguínea de lactato se incrementa y alcanza el pico en 2-10 min. pos-ejercicio.^{31, 32} La decisión de haber tomado la muestra a los 5 min posejercicio en este trabajo fue porque este valor se consideró el punto medio señalado anteriormente. En el presente estudio el lactato sanguíneo de los caballos ejercitados se incrementó a los 5 min en la intensidad leve y moderada; mientras que en los caballos de ejercicio intenso fue

mínima su modificación. En los caballos con ejercicio leve y moderado, el incremento de lactato a los 5 min con valores que oscilan entre 0.55 y 2.05 mmol/L; a los 60 min tuvieron valores inferiores a los basales (2.68 y 2.37 mmol/L respectivamente) y esta diferencia fue de 0.55 y 0.35 mmol/L. Sin embargo, las modificaciones experimentadas en los caballos de ejercicio intenso a los 5 min se elevaron hasta 0.12 mmol/L con respecto al basal (2.10 mmol/L) pero a los 60 min los valores fueron 2.53 mmol/L.

Estas modificaciones de lactato cuando son por arriba del valor basal explican que el metabolismo del caballo aún no está usando el lactato para la síntesis de energía como glucosa. Sin embargo, al término del ejercicio cuando las concentraciones de lactato son inferiores a los valores basales, nos indica que se está utilizando como energía para la gluconeogénesis (Figura 1.1).

La concentración sanguínea de lactato es sensible a los cambios de intensidad y duración del ejercicio.⁶ El umbral de lactato aeróbico-anaeróbico se utiliza para identificar la intensidad del ejercicio. La producción y eliminación de lactato sanguíneo durante el entrenamiento es un balance conocido como maxLASS; en el humano, es de 1 mmol/L entre 5 y 25 min de ejercicio a un ritmo constante de velocidad máxima.⁷ En los caballos, existen pocos datos sobre el uso maxLASS, y se ha reportado que las concentraciones de lactato en el músculo glúteo medio puede incrementarse por arriba de 200 mmol/kg en peso seco, aunque también se han reportado 100 mmol/kg en peso seco.³⁹

En el aporte alimenticio se observa que en el grupo de ejercicio leve existe deficiencia de calcio y sodio; mientras que el magnesio y potasio se encuentra en exceso. En el grupo de ejercicio moderado presenta exceso en los elementos minerales, excepto en el calcio que no cubre las necesidades del caballo. En el grupo de ejercicio intenso existe un exceso en el aporte de calcio y potasio; mientras que el magnesio y sodio son deficientes.

McCutcheon et al.,1995³⁴, describen el efecto del ambiente sobre la concentración de electrolitos en el sudor y los hallazgos son los siguientes: El efecto del ambiente sobre la salida de sodio a través del sudor se manifiesta en orden decreciente de intensidad de caliente-seco, caliente-húmedo, frío-seco con ejercicio intenso y frío-seco (Cuadro 1.1).

En este documento se describe la salida de electrolitos en el sudor en diferentes ambientes que se podría considerar para esperar un reflejo en la concentración de electrolitos en el suero sanguíneo. Así, en el presente trabajo se encontró que la concentración de sodio se incrementó 10% en el ejercicio de intensidad leve; sin embargo el potasio se redujo 53%. El magnesio descendió 28% pero en el ejercicio moderado. Así mismo, el calcio se incrementó 14 % en el ejercicio leve. Estos hallazgos nos indican que las modificaciones importantes de las concentraciones de los electrolitos en los caballos de este experimento fueron más evidentes en el grupo de intensidad del ejercicio leve. Esto se asocia a que los caballos de este grupo no contaban entrenamiento previo, como las otras intensidades del ejercicio. Además, se debe de considerar que en este experimento el aporte de sodio en el alimento no cubre las necesidades de este tipo de caballos ya que se identificó una deficiencia de 1 840 mg/animal. En el caso del potasio se encontró un excedente en el alimento que recibían estos caballos de 61 318 mg/animal.

Estas modificaciones se pueden derivar de la demanda del magnesio en la fosforilación oxidativa para la generación de energía. También es válido asumir que las modificaciones del calcio por la participación en la excitabilidad y transmisión del impulso nervioso hacia el músculo.

En el cuadro 3.3.4 se correlacionan las concentraciones de los elementos minerales de la dieta y las concentraciones basales de electrolitos donde se encontró que el potasio se encontró en exceso. Lo cual se recomienda ajustar este elemento a la ración disminuyendo la cantidad de este para que cubra las necesidades del caballo. Mientras que en el grupo de

caballos de ejercicio intenso, el magnesio es deficiente en el alimento y en el suero, por lo tanto se debe de suplementar este elemento debido a su importancia y participación en el metabolismo. Los elementos que se encuentran en exceso es el sodio en la dieta del grupo del ejercicio moderado y calcio en el grupo de ejercicio intenso, pero las concentraciones basales séricas de dichos elementos son deficientes por lo cual se recomienda administrar este elemento en forma de sal (cloruro de sodio).

Para mantener y optimizar su funcionamiento orgánico se recomienda que la alimentación de caballos se encuentre balanceada en elementos minerales debido a que el contenido de estos se refleja en la concentración electrolítica sérica. Las alternativas para la complementación, puede ser por la administraciones en el agua de bebida, por vía oral y por complementación alimenticia correctiva.

La relación entre la concentración plasmática de aldosterona y la intensidad del ejercicio han sido reportados en caballos. El incremento de potasio en el plasma de 0.3 mEq/L puede ser suficiente para estimular la secreción de aldosterona, independiente de la cascada de renina-angiotensina.⁴⁰ Otros autores mencionan que al igual que en los humanos, la aldosterona juega una función importante en la respuesta aguda al ejercicio en caballos; sin embargo la concentración de aldosterona permanece elevada por horas después del ejercicio y puede afectar la reabsorción de sodio y agua por los riñones y por el tracto gastrointestinal.⁴¹

En esta investigación se observó que el sodio se encuentra deficiente por lo cual se recomienda administrar 50-60g de cloruro de sodio al día. Al correlacionar las concentraciones de los elementos minerales en el suero sanguíneo y en el alimento, también se detectó la deficiencia de magnesio y calcio; mientras que el potasio se encontró en exceso en los grupos de caballos estudiados.

Conclusiones

En general se observó que los caballos sujetos al ejercicio tienen una variación en la temperatura corporal de 0.5 a 1.5 °C que retorna a los valores basales a los 60 min posejercicio recordando que el factor ambiental modifica dichos valores.

Los cambios del lactato posejercicio fueron: en el grupo de intensidad leve subió 0.5 mmol/L, en el grupo de moderada subió 2.1 mmol/L a los 5 min; en el grupo de ejercicio intenso subió 0.4 mmol/L pero a los 60 min. Esto refleja la importante participación del lactato en el metabolismo para producir energía durante la realización del ejercicio. La degradación del lactato ocurre por su oxidación, que depende del estado de entrenamiento del atleta; mientras que la eliminación es por la incorporación en la gluconeogénesis.

En las diferencias de la concentración de los elementos minerales del alimento y del suero sanguíneo entre lo encontrado en este experimento con los de referencia se observa que la concentración de sodio fue deficiente en el suero sanguíneo y en el alimento, excepto en los valores basales del grupo del ejercicio moderado. En el caso del potasio las diferencias apuntan a que siempre estuvo en exceso tanto en el suero como en el alimento. Las diferencias del magnesio en el suero y en el alimento del ejercicio intenso fueron deficientes, en el caso de los valores del alimento en el ejercicio leve y moderado estuvieron en exceso. En el caso del calcio, la diferencia de los valores fueron deficientes en el suero y en el alimento del ejercicio leve y moderado; en el ejercicio intenso estuvo en exceso. Por lo tanto es importante ajustar la ración, ya sea utilizando complementos de elementos minerales para cubrir las necesidades diarias del animal o retirando el exceso del elemento específico.

En los análisis de las concentraciones basales de electrolitos sanguíneos, se observó que en los grupos de caballos que realizan diferentes intensidades de ejercicio, no se presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$) en la concentración basal de magnesio, calcio y sodio

sérico. Mientras que en el grupo de ejercicio leve comparado con los grupos de ejercicio moderado e intenso Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$). En el grupo de ejercicio intenso, las concentraciones basales de sodio y potasio presentaron diferencia significativa entre las actividades de salto y doma ($p < 0.05$).

En los análisis de las concentraciones de electrolitos sanguíneos posejercicio, las concentraciones de calcio a los 5 min posejercicio, los grupos de ejercicio leve e intenso tuvieron un incremento de 51.15 ug/ml a 58.32 ug/ml (14%) y de 44.54 ug/ml a 45.93 ug/ml (3 %) respectivamente, pero después retornaron a sus valores basales a los 60 min. La diferencia entre la concentración de magnesio sérico basal y de recuperación presentó porcentajes de disminución según el tipo de intensidad: leve de 12.21 ug/ml a 10.93 ug/ml (11 %), moderada de 14.24 ug/ml a 10.12 ug/ml (28%) e intensa 12.41 ug/ml a 11.57 ug/ml (7%) que muestra pérdida de este elemento mineral. Las concentraciones de potasio y sodio sérico sanguíneo en caballos que realizaron ejercicio moderado e intenso retornaron adecuadamente a los valores basales.

En el análisis de correspondencia, la intensidad leve mostró una estrecha asociación con la disminución de la concentración de potasio y magnesio, así como un incremento en la concentración de calcio. A diferencia del ejercicio intenso que se relacionó con un decremento en la concentración de calcio y un aumento en el potasio. Resulta interesante que la intensidad moderada únicamente se asocia a una disminución en la concentración de sodio (Figura 3.5.5).

Perspectivas

Las limitantes del presente estudio fue un diseño observacional con diferentes tamaños de muestra en cada grupo de caballos de acuerdo a la intensidad del ejercicio. Para la inclusión de los individuos en cada uno de los grupos se consideró la población disponible y tipo de trabajo al que estaban destinados. Los datos obtenidos pueden proporcionar información para la formulación de complementos de elementos minerales para una población de caballos similares a los del estudio. Con el desarrollo del presente experimento se implementa un modelo de estudio donde una vez conocidas las necesidades de los electrolitos en caballos después de hacer ejercicio se podrá sugerir una complementación adecuada de los elementos minerales evitando problemas de fatiga concomitantes.

LITERATURA CITADA

1. PERSSON SGB, ESSÉN-GUSTAVSSON B, FUNKQUIST P, ROMERO LB. Plasma, red cell and whole blood lactate concentrations during prolonged treadmill exercise at VLA4. *Equine Vet. J.* 1995, (Suppl. 18): 104-107.
2. ART T, LEKEUX P. Exercise-induced physiological adjustments to stressful conditions in sports horses. *Livestock Production Science* 2005; 92:101 – 111.
3. WALLER AMANDA P. , GEORGE J. F., HEIGENHAUSER, RAYMOND J. GEOR,LAWRENCE L. SPRIET, MICHAEL I. LINDINGER. Fluid and electrolyte supplementation after prolonged moderate-intensity exercise enhances muscle glycogen resynthesis in Standardbred horses. *J Appl Physiol* 2009; 106: 91–100.
4. KENNETH W. HINCHCLIFF, ANDRIS J. KANEPS, RAYM. *Equine sports medicine and surgery. Basic and clinical sciences of the equine athlete.* Saunders, 2004.
5. PÖSÖ A.R., KOHO N.M., MYKKÄNEN K.A., REEBEN M. AND VÄIHKÖNEN L.K. Muscle-lactate and its transport across membranes in horses: a review. *Nutrition of the exercising horse.* EAAP publication No. 125. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands, 2008.
6. LINDNER A, MOSEN H, KISSENBECK S, FUHRMANN, SALLMANN H.P. Effect of blood lactate-guided conditioning of horses with exercises of differing durations and intensities on heart rate and biochemical blood variables. *J. Anim Sci.* 2009 Oct; 87 (10): 3211-7.
7. LINDNER AE. Maximal lactate steady during exercise in blood of horses. *J Anim Sci.* 2010 Jun; 88(6): 2038-44.
8. RESTREPO PATIÑO J.F. *Metabolismo, nutrición y shock.* Editorial Médica Panamericana. 4ta. Edición. Colombia, 2006.

9. LAWRENCE L, KLINE K, MILLER-GRABER P, SIEGEL A, KURCZ E, FISHER M, BUMP K. Effect of sodium bicarbonate on racing Standardbreds. *J Anim Sci* 1990 Mar; 68 (3): 673-7.
10. FRAPE D. Nutrición y alimentación del caballo. Acribia. España, 1992.
11. BOFFI FEDERICO M. Fisiología del ejercicio en equinos. Intermédica. Argentina, 2007.
12. MC. DOWELL RUSSELL LEE. Minerals in animal and human nutrition. Academic Press Inc. London, 1992.
13. HULTER, H.N. Adrenal steroid hormones. In: Maxwell and Kleeman's Clinical Disorders of Fluid and Electrolyte Metabolism. Mc Graw Hill 5th Edition. U.S.A., 1994.
14. AUSIELLO, D.A. AND BONVENTRE, J.V. Calcium and calmodulin as mediators of hormone action and transport events. *Sem. Nephrol.* 1984. 4: 134-143.
15. HUMES, H.D. Regulation of intracellular sodium. *Sem. Nephrol.* 1984. 4: 117-133.
16. BOURDEAU, J.E. AND ATTIE, M.F. Calcium metabolism. In: Maxwell and Kleeman's Clinical Disorders of Fluid and Electrolyte Metabolism. Mc Graw Hill 5th Edition. U.S.A., 1994.
17. SOLOMON, R. The relationship between disorders of K and Mg homeostasis. *Sem. Nephrol.* 1987. 7: 253- 262.
18. KOBRIN S.M. AND GOLDFARB, S. Magnesium deficiency. *Sem. Nephrol.* 1990. 10:525-535.
19. RYAN, M.P. Interrelationships of magnesium and potassium homeostasis. *Miner. Elect. Metab.* 1993. 19: 290-295.
20. MICHELL A. R. The Clinical biology of sodium. Elsevier Science Ltd. U.S.A., 1995.

21. COMMITTEE ON NUTRIENT REQUIREMENTS OF HORSES. Nutrient Requirements of Horses. National Research Council of the National Academies. 6TH rev. edition. U.S.A., 2007.
22. GRIM C.E., SCOGGINS B.A. The rapid adjustment of renal sodium excretion to changes in sodium intake in sheep. *Life Sci.* 1986; 39: 215-222.
23. TAYLOR FRANK G.R., BRAZIL TIM J., HILLYER MARK H. Diagnostic Techniques in Equine Medicine. 2da. edición. Saunders Elsevier. Great Britain, 2010.
24. MCDONALD RHONA E., ET AL. Latherin: A Surfactant Protein of Horses Sweat and Saliva. *PLoS ONE*. 2009; 4(5)
25. SPOONER H.S., NIELSEN, SCHOTT H.C., HARRIS P.A. Sweat composition in Arabian horses performing endurance exercise on forage-based, low Na rations. *Equine Vet J. Suppl.* 2010 Nov; (38): 382-6
26. KENNETH W. HINCHCLIFF. GEOR RAYMOND J. KANEPS ANDRIS J. Equine exercise physiology. The science of exercise in the athletic horse. Elsevier. Great Britain, 2008.
27. MARLIN DAVID. NANKERVIS KATHRYN. Equine exercise physiology. Blackwell Publishing. United Kingdom, 2002.
28. GANONG WILLIAM F, ET.AL. Fisiología Médica. Mc. Graw Hill Interamericana editores. 23^a edición. México, 2010.
29. HARRIS PATRICIA. Feeding management of elite Endurance Horses. *Vet Clin Equine* 2009; 25: 137-153.
30. L. J. MC CUTCHEON, R. J. GEOR. Influence of training on sweating responses during submaximal exercise in horses. *J Appl Physiol* 2000; 89: 2463–2471.

31. PERSSON SGB, ESSÉN-GUSTAVSSON B, FUNKQUIST P, ROMERO LB. Plasma, red cell and whole blood lactate concentrations during prolonged treadmill exercise at VLA4. *Equine vet. J.* 1995, (Suppl. 18): 104-107.
32. PÖSÖ AR, LAMPINEN KJ, RÄSÄNEN LA. Distribution of lactate between red blood cells and plasma after exercise. *Equine vet. J.* 1995, (Suppl. 18): 231-234.
33. CHRISTOPHER K. MATHEWS, KEVIN G. AHERN, KAI EDUARDS VAN HOLDE. *Bioquímica. Segunda edición. Addison-Wesley Iberoamericana. España, S.A., 2002.*
34. McCUTCHEON LJ, GEOR RJ, HARE MJ, et al. Sweating rate and sweat composition during exercise and recovery in ambient heat and humidity. *Equine Vet J* 1995; Suppl 20:153–157.
35. McCUTCHEON LJ, GEOR RJ, HARE MJ, et al. Sweat composition: Comparison of collection methods and effects of exercise intensity. *Equine Vet J Suppl* 1995; 18:279–284.
36. KING MICHAEL. Sustrato de la gluconeogénesis. Ciclo de Cori. 1996–2013.
<http://themedicalbiochemistrypage.org/es/gluconeogenesis-sp.php>
37. Cobas, Roche, Accutrend plus for determination of blood lactate. Roche Diagnostics, 2007.
38. Perkin Elmer Co. Analyst 100, Atomic Absorption Spectrometer, Norwalk CT 06859-0010. USA, 1996.
39. A. R. Pösö. Monocarboxylate transporters and lactate metabolism in Equine Athletes: A review. *Acta vet scand.* 2002, 43, 63-74.
40. McKeever KH, Hinchcliff KW. Neuroendocrine control of blood volume, blood pressure, and cardiovascular function in horses. *Equine Vet J* 1995; 18 (Suppl):77–81.
41. McKeever KH, Scali R, Geiser S, Kearns CF. Plasma aldosterone concentration and renal sodium excretion are altered during the first days of training. *Equine Vet J* 2002; 34 (Suppl):524–531.