



**Comparison of blood serum concentrations of Cu, Mn, and Zn
in horses fed exclusively on kikuyu grass (*Cenchrus
clandestinus*) and saboya grass (*Megathyrus maximus*), using
a simple acid digestion technique**

**Comparación de la concentración en suero sanguíneo de
Cu, Mn y Zn en caballos alimentados exclusivamente con
pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) y pasto saboya
(*Megathyrus maximus*), mediante una técnica de
digestión ácida simple**

Para citar este trabajo:

Autores:

Diego Fernando Luna Narváez
Universidad Central del Ecuador
Quito - Ecuador
dluna@uce.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-6429-9107>

Bryan Moisés Moya Cabezas
Universidad Central del Ecuador
Quito - Ecuador
bmmoya@uce.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0006-8977-6762>

Yolanda Mercedes Cedeño Prócel
Universidad Central del Ecuador
Quito - Ecuador
ymcedeno@uce.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-8378-3896>

Arnulfo Rigoberto Portilla Narváez
Universidad Central del Ecuador
Quito - Ecuador
arportilla@uce.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-8665-1848>

Autor de Correspondencia: Diego Fernando Luna Narváez, dluna@uce.edu.ec

RECIBIDO: 01-Abril-2025

ACEPTADO: 16-Abril-2025

PUBLICADO 30-Abril-2025



Resumen

El equino es una especie monogástrica herbívora que ha sido criada a base de pastoreo debido a que su sistema digestivo está diseñado para el consumo y procesamiento de materia vegetal. Los minerales son nutrientes esenciales para el desarrollo y funcionamiento normal del equino ya que están presentes en una amplia gama de procesos fisiológicos, estos se dividen en macro y microminerales. El objetivo de esta investigación fue determinar los niveles séricos de tres microminerales (Cu, Mn y Zn) en caballos alimentados a base de pasto kikuyo, en una hacienda de la región sierra, y pasto saboya en una hacienda de la región costa; y compararlos entre sí. Para el análisis de los microminerales se obtuvo por venopunción una muestra de sangre para su posterior centrifugación y extracción de suero, el cual fue sometido a un proceso de digestión ácida simple y posteriormente a espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados demuestran que la concentración sérica de los microminerales (Cu, Mn y Zn) en caballos alimentados con pasto kikuyo fue de Cu=0,884 mg/L, Mn=0,024 mg/L y Zn=0,58 mg/L mientras que en los caballos alimentados con pasto saboya fue de Cu=0,932 mg/L, Mn=0,012 mg/L y Zn=0,660 mg/L. No existió diferencia significativa ($p>0.05$) entre las concentraciones séricas de Cu y Zn entre ambos grupos, en cuanto al Mn si existió una diferencia significativa ($p<0,05$) entre las concentraciones séricas de ambos grupos, siendo más alta en el grupo alimentado con pasto kikuyo.

Palabras clave: Microminerales; Suero; Pasto

Abstract

The horse is a monogastric herbivorous species that has been raised on pasture because its digestive system is designed for the consumption and processing of vegetable matter. Minerals are essential nutrients for the development and normal functioning of the horse because they are present in a wide range of physiological processes, these are divided into macro and microminerals. The objective of this research was to determine the serum levels of three microminerals (Cu, Mn and Zn) in horses fed kikuyu grass in a farm in the highland region and saboya grass in a farm in the coastal region, and to compare them with each other. For the analysis of microminerals, a blood sample was obtained via venipuncture for subsequent centrifugation and extraction of serum, which was subjected to a simple acid digestion process, and then, to atomic absorption spectrophotometry. The results show that the serum concentration of microminerals (Cu, Mn and Zn) in horses fed with kikuyu grass was Cu=0.884 mg/L, Mn=0.024 mg/L and Zn=0.58 mg/L while in horses fed with savoy grass it was Cu=0.932 mg/L, Mn=0.012 mg/L and Zn=0.660 mg/L. There was no significant difference ($p>0.05$) between the serum concentrations of Cu and Zn between both groups, as for Mn there was a significant difference ($p<0.05$) between the serum concentrations of both groups, being higher in the group fed with kikuyu grass.

Keywords: Microminerals; Serum; Grass



1. Introducción

Naturalmente han sido criados a base de pastoreo desde épocas antiguas debido a que el sistema digestivo del caballo está diseñado para el consumo y procesamiento de materia vegetal; incluso en la actualidad es común la alimentación a base de pastoreo, principalmente si se trata de caballos de trabajo o de un gran número de animales (Duchimaza et al., 2018).

El aporte de forrajes en la dieta del equino es fundamental siendo este de mínimo un 60% del total de la dieta, el cual debe aportar la fibra necesaria para un correcto funcionamiento digestivo (Duchimaza et al., 2018). Generalmente un caballo adulto consume entre 1,5-2% de su peso corporal en materia seca, esto quiere decir que, si un caballo pesa 500 kg, el consumo de materia seca será de unos 7,5 kg aproximadamente lo que equivaldría (según el porcentaje de humedad del pasto) a unos 37 kg de materia verde o pasto (Duchimaza & Morocho, 2018; Frape, 2010)

Dentro de los pastos más comunes en la sierra encontramos al kikuyo (*Cenchrus clandestinus*, anteriormente denominado *Pennisetum clandestinum*), el kikuyo es una gramínea perenne proveniente de África la cual se extiende bajo tierra por medio de estolones (Juan Vargas, Sierra, Mancipe, & Avellaneda, 2018). Es de rápido crecimiento y agresividad, llegando a ser considerada como maleza en ciertas regiones. Es bastante popular en la ganadería debido a su baratura y a su habilidad para tolerar sequías, pese a su baja calidad contiene un nivel aceptable de proteína (Arango, Cardona, López, Correa, & Echeverri, 2017; Juan Vargas et al., 2018).

En las regiones tropicales, uno de los pastos más distribuidos es el pasto saboya (*Megathyrsus maximus*, anteriormente denominado *Panicum maximum*), también llamado guinea o cauca; ha sido descrita como una especie cespitosa y formadora de matas (Derichs, 2017; Julio Vargas, Arteaga, García, & Cevallos, 2016). Posee una buena calidad nutritiva y una productividad eficiente; es una especie de gramínea perenne con una altura de hasta 3m que es utilizada principalmente en el pastoreo de ganado (Moran, 2019).

Los minerales y microminerales son nutrientes que no aportan energía, pero son esenciales en la dieta del equino ya que realizan funciones importantes como metabolizar grasas, proteínas o carbohidratos; de igual forma intervienen en el funcionamiento normal de nervios y músculos, así como en la formación de los huesos, participación en el sistema inmune, estrés oxidativo (Church et al., 2002; Ossa, 2006). Están presentes en casi todas las metaloenzimas que el equino necesita día a día en su metabolismo y cerca del 4 al 5% del peso del animal lo constituyen los minerales (Reyes, 2006).

A los minerales se los clasifica de acuerdo a su concentración en el organismo, de tal manera que se dividen en dos: macrominerales y microminerales o minerales traza (Church et al., 2002). Dentro de los macrominerales tenemos al Ca, P, Na, Cl, Mg y S, los cuales, se encuentra en una magnitud superior; pudiendo expresarse su necesidad en % de la ración total de alimento o en g/día (McDonald, 1999; Reyes, 2006). En cambio, los microminerales se encuentra en una magnitud menor; dentro de este grupo tenemos al Fe, Zn, F, Se, I, Mn, Cu y Mo; si bien su necesidad es en menor cantidad, cumplen funciones de suma importancia, sus concentraciones se pueden expresar en ppm (partes por millón) o mg/día (Reyes, 2006; N. Suttle, 2010).

El Zn, Cu y Mn son elementos pertenecientes a los microminerales o minerales traza, esenciales para el crecimiento normal del caballo y para su mantención (Domínguez et al., 2017). Estos 3 microminerales forman parte de numerosas metaloenzimas como la anhidrasa carbónica, superóxido dismutasa (SOD1 y SOD2), entre otras (Church et al., 2002; Wagner et al., 2010).

Dentro de sus funciones están activar diversas metaloenzimas de las que forman parte, síntesis y metabolismo de proteínas y carbohidratos (Zn), ayudar en la producción de melanina, en el proceso de hematopoyesis, en la mantención de la mielinización del sistema nervioso central (Cu),



en la formación normal del hueso y en el metabolismo de los carbohidratos (Mn) (Church et al., 2002; Frape, 2010).

Se distribuyen ampliamente por los tejidos del cuerpo, hallándose en mayor concentración en órganos como hígado, riñón y en menor concentración en pulmones, sangre y cerebro (Boulou, Noro, Böhmwald, & Wittwer, 2013; Church et al., 2002; Puls, 1988).

Existe muy poca información en el país acerca de los niveles sanguíneos de minerales en la especie equina, debido a la poca importancia que se da a los mismos y en especial de los microminerales por parte de la mayoría de los propietarios, además de la falta de investigación en este tema.

posee una capacidad de entre 7-14 litros. Otra particularidad es el tamaño de su ciego y su desarrollo ya que tiene una capacidad de 25-35 litros y es aquí donde se lleva a cabo la fermentación, es decir, el equino es un fermentador post-gástrico (Church et al., 2002; Frape, 2010; Hintz, 1994).

intervalos frecuentes (Duchimaza & Morocho, 2018; Duchimaza et al., 2018)

El aporte de forrajes en la dieta del equino es esencial para un óptimo estado de animal, siendo este de mínimo un 60% del total de la dieta, el cual debe aportar la fibra necesaria para un correcto funcionamiento digestivo. Generalmente un caballo adulto consume entre 1,5-2% de su peso corporal en materia seca, esto quiere decir que, si un caballo pesa 500 kg, el consumo de materia seca será de unos 7,5 kg aproximadamente lo que equivaldría (según el porcentaje de humedad del pasto) a unos 37 kg de materia verde o pasto en promedio (Duchimaza & Morocho, 2018; Duchimaza et al., 2018; Frape, 2010).

Los microminerales se encuentra en una magnitud inferior, dentro de este grupo tenemos al Fe, Zn, F, Se, I, Mn, Cu, y Mo; si bien su necesidad es en menor cantidad, cumplen funciones de suma importancia, sus concentraciones se pueden ser expresadas en ppm (partes por millón) o mg/día (Ossa, 2006; Reyes, 2006; N. Suttle, 2010).

El almacenamiento de los minerales en el organismo se produce en diferentes compartimentos, distribuyéndose ampliamente por los tejidos del cuerpo, hallándose en mayor concentración en órganos como hígado, riñón y en menor concentración en pulmones, sangre y cerebro (Church et al., 2002; Frape, 2010).

Existen diversos factores que intervienen en la ingesta, transporte y almacenamiento de los minerales, entre los que se mencionan están: interacciones entre minerales, que puede ser competitiva o no competitiva; estados fisiológicos, dietas desequilibradas que favorecen el consumo de un mineral más que otros, la presencia de otros nutrientes como grasas, fibra, vitaminas afectan la absorción y utilización de ciertos minerales, así como la presencia de fitatos que pueden producir interferencias metabólicas de los minerales. También se ha descrito que ciertos factores, como la edad y el sexo, influyen en la concentración de ciertos minerales (Frape, 2010; McDonald et al., 2011; Pagan, 2000; Ralston, 1990).

COBRE (Cu)

El cobre es un mineral esencial para el funcionamiento de todos los seres vivos, fue a partir del año 1928 que el cobre (Cu) fue considerado como un mineral esencial de la dieta de los animales. Estudios realizados en la Universidad de Wisconsin dilucidaron que es necesaria una pequeña cantidad de cobre junto con el hierro para la formación de la hemoglobina (Church et al., 2002; Ossa, 2006).



El cobre es un micromineral, multifuncional y esencial en el organismo animal debido a que es componente de diversas enzimas (p. ej. lisil oxidasa, ferroxidasa, tirosinasa), actúa como cofactor y está asociado a diversas proteínas (p. ej. tiroxina T4). Debido a esto, la deficiencia de este micromineral en el organismo del animal puede producir diferentes enfermedades (Church et al., 2002; N. Suttle, 2010).

ALMACENAMIENTO

En lo que refiere a la distribución y concentración del Cu en el organismo del equino, se debe tener en cuenta que es variable. Si bien la concentración de cobre en el músculo es baja, debido a la gran masa muscular que posee el caballo, la concentración está entre un 40-60%; en otros órganos como riñón e hígado (25%) y en menores cantidad en sangre (5.5%), huesos (5%) y pelo (2.7%) (Frape, 2010; McDonald et al., 2011; Ossa, 2006).

Durante la gestación la concentración de Cu total aumenta en la madre y por ende el feto, siendo almacenada en el hígado fetal; debido a esto, los animales recién nacidos poseen mayores concentraciones de Cu que los adultos, esta concentración se va a ir igualando conforme el potro vaya creciendo (Ossa, 2006; Reyes, 2006).

Una vez absorbido el Cu es transportado desde el intestino hacia la circulación sanguínea unido a albúminas, proteínas como las transcuperinas y junto al aminoácido histidina, llegando al hígado, el cual actúa como órgano regulador de la homeostasis del Cu y como principal reservorio de este mineral (Church et al., 2002; McDonald et al., 2011; N. Suttle, 2010).

Dentro del hígado, el cobre puede ser almacenado a manera de un complejo llamado tioneína, el cual está formado por una proteína llamada metalotioneína; o bien, este puede incorporarse a la ceruloplasmina, la cual es responsable del transporte del Cu plasmático hacia los tejidos donde se sintetizan cuproenzimas como la citocromo c oxidasa y la Cu/Zn superóxido dismutasa (Church et al., 2002; Kaneko, Harvey, & Bruss, 2008).

Existen numerosos parámetros que se utilizan para estudiar el metabolismo del cobre en el organismo, los más utilizados son la concentración hepática de Cu, concentración plasmática/sérica de cobre, actividad de cuproenzimas como la superóxido dismutasa, citocromo oxidasa, lisiloxidasa y ceruloplasmina (Ossa, 2006; Reyes, 2006).

FUNCIONES

El Cobre (Cu) participa en varios procesos fisiológicos y es esencial para la actividad de diversas metaloenzimas las cuales están directamente relacionadas con funciones como: la síntesis y mantenimiento del tejido conectivo elástico, la movilización de las reservas de hierro (así como en la síntesis de hemoglobina), en la síntesis de melanina (pigmento corporal de los animales), está presente en la estabilización del colágeno óseo, preservación de la integridad mitocondrial, defensa antioxidante, respiración celular y mielinización de la médula espinal (Kaneko et al., 2008; Ossa, 2006; Reyes, 2006; N. Suttle, 2010).

CERULOPLASMINA (CP)

Es una cuproproteína con actividad enzimática sintetizada en el hígado que contiene 6 átomos de cobre en su estructura. La ceruloplasmina contiene más del 95% del cobre del plasma, el porcentaje restante lo lleva la albúmina, ya que une el cobre de manera más débil que la ceruloplasmina; esta no actúa en el transporte del cobre hacia los tejidos (Hellman & Gitlin, 2002; N. Suttle, 2010).

La ceruloplasmina muestra una actividad ferroxidasa dependiente de cobre, la cual facilita la oxidación del hierro ferroso al férrico (Fe^{+2} a Fe^{+3}), por lo que ayuda a su transporte en el plasma



estando asociada a la transferrina, la cual solo puede llevar el hierro en su estado férrico (Hellman & Gitlin, 2002; Kaneko et al., 2008).

CITOCROMO C OXIDASA (CCO)

La citocromo c oxidasa o complejo IV de la cadena respiratoria, es la enzima responsable de la cadena de transporte de electrones terminales en la cadena respiratoria y, por tanto, de la generación de energía en todos los tejidos (Kaneko et al., 2008).

La citocromo c oxidasa y sus coenzimas citocromo c están presentes en las mitocondrias, en cuya respiración intervienen. La CCO cataliza la oxidación del citocromo c junto con la reducción de oxígeno molecular (O₂) hacia agua (H₂O). La energía liberada por la reacción redox permite que la enzima bombee protones desde la matriz mitocondrial al espacio intermembrana (Kaneko et al., 2008; Rodwell, Bender, Botham, Kennelly, & Weil, 2006; N. Suttle, 2010).

El proceso de respiración implica la liberación y utilización del oxígeno molecular de forma que carbohidratos, grasas y aminoácidos pueden ser oxidados, generando energía para la célula. La mayor parte de la energía celular se mantiene transitoriamente en forma de ATP. Por tanto, la citocromo c oxidasa es el lugar de captación y reducción del oxígeno molecular (Kaneko et al., 2008; N. Suttle, 2010).

LISIL OXIDASA (LOX)

Es una cuproenzima esencial para la estabilización de las matrices extracelulares, específicamente la reticulación enzimática de colágeno y elastina. La lisil oxidasa desempeña un papel principal relacionado con la actividad catalítica en el ensamblaje de la matriz extracelular (MEC). Proporciona un entorno estructural y de señalización local que controla el destino celular, la adhesión, la proliferación, la diferenciación, la migración y la comunicación durante el desarrollo, el mantenimiento y la reparación de tejidos (Feoktistova, Yulia, & Feoktistova, 2018; Rucker et al., 1998; N. Suttle, 2010).

La LOX desamina oxidativamente los grupos ε-amino de ciertos residuos de lisina e hidroxilisina, produciendo aldehídos reactivos. Dichos aldehídos pueden formar productos de condensación aldólica con otros aldehídos derivados de lisina o hidroxilisina. Estas reacciones, después de posteriores reordenamientos químicos, dan como resultado enlaces cruzados covalentes estables que infunden a la fibra de colágeno una resistencia y rigidez excepcionales (Feoktistova et al., 2018; Kaneko et al., 2008; Laczko & Csiszar, 2020).

La LOX, además, desempeña funciones tanto extracelulares, intracelulares y nucleares que cumplen funciones importantes en los tejidos normales. Además de su actividad en la MEC, también posee actividad en la piel, los pulmones, los tejidos cardiovasculares, epiteliales, diferenciación osteogénica, formación de matriz ósea y remodelación de ligamentos (Kaneko et al., 2008; Rucker et al., 1998).

Cu/Zn SUPERÓXIDO DISMUTASA (Cu/Zn SOD)

El metabolismo oxidativo normalmente resulta en la reducción de oxígeno a agua, dando lugar a pequeñas cantidades de radicales libres, incluida la molécula de superóxido (O₂) (Kaneko et al., 2008; Wagner et al., 2010). La formación de estos radicales libres puede provocar daños en las células y los tejidos. Se cree que el aumento del consumo de oxígeno durante el ejercicio genera un estado de estrés oxidativo y un consiguiente aumento de la formación de radicales libres. Para contrarrestar esto, el organismo se basa en un sistema de defensa, que comprende una combinación de compuestos antioxidantes y enzimas para controlar y eliminar los radicales libres (Dell & Ph, 1976; Kaneko et al., 2008; N. Suttle, 2010; Wagner et al., 2010).



La superóxido dismutasa (SOD) es una de estas enzimas antioxidantes, encargadas de catalizar la conversión de O₂ en peróxido de hidrógeno (H₂O₂), que posteriormente es reducida mediante la catalasa o glutatión peroxidasa (Bakavayev et al., 2019; Chandrasekharan et al., 2021). La SOD se presenta en dos formas principalmente dentro del organismo: una isoforma citosólica que contiene cobre y zinc (Cu/Zn SOD) y una isoforma predominante en las mitocondrias con manganeso (Mn-SOD) (Araujo, Silva, Araújo, Monteiro, & Holanda, 2021; Dell & Ph, 1976; Kaneko et al., 2008; Rodwell et al., 2006; N. Suttle, 2010; Wagner et al., 2010).

DEFICIENCIA DE Cu

Como se mencionó antes, el Cu está envuelto en diversos procesos fisiológicos, por ende, una deficiencia en su consumo o una baja concentración en el organismo desencadenaría una serie de trastornos en este. Las alteraciones incluyen una interrupción en el proceso de hematopoyesis, lo que provocaría una anemia; debido a su rol en la formación de mielina, un déficit en su concentración produciría problemas en la transmisión nerviosa lo que derivaría en ataxia (Church et al., 2002; Ossa, 2006; Pearce et al., 1998). De igual manera un déficit en el organismo produciría cambios en la pigmentación de pelos, depresión del sistema inmune y en algunos casos se ha reportado la ruptura de la arteria uterina durante el parto en yeguas (Coskun, Ozdemir, Erol, & Kirbiyik, 2016; Reyes, 2006; N. Suttle, 2010).

En animales jóvenes pueden presentarse desórdenes óseos debido al rol que cumple el Cu como cofactor de la enzima lisil oxidasa, que es esencial en la síntesis y mantención del colágeno, con la consecuente disminución en la calidad y cantidad del colágeno formado, produciendo animales con extremidades más débiles y con una mayor predisposición a la aparición de osteoporosis; así mismo puede causar una disminución en la actividad de las células óseas, por lo tanto, un menor grosor de la corteza ósea (Coskun et al., 2016; Dell & Ph, 1976; Reyes, 2006; N. Suttle, 2010).

FUENTES Y REQUERIMIENTOS

El contenido de Cu en las pasturas es variable dependiendo del suelo y del tipo de forraje, pero en general las concentraciones van desde 4,5 ppm a 21,1 ppm en pastos y leguminas forrajeras alrededor de 17 ppm. En cuanto al contenido de Cu en los cereales como la avena o la cebada los niveles rondan entre los 3,9 ppm y las 4 ppm (Church et al., 2002; Frape, 2010; McDonald et al., 2011).

Estudios realizados en equinos, mostraron que los requerimientos varían dependiendo de desempeño del caballo, yendo desde los 131 mg/día hasta los 187 mg/día. Sin embargo, los requerimientos establecidos por la NRC mencionan que 10 ppm o 10 mg/kg de materia seca o 0,2 mg/kg de peso vivo son suficientes para un caballo en mantenimiento. Hay que tener especial cuidado en la administración de Cu en potros recién destetados ya que sus necesidades suelen ser mayores a las de un adulto (Frape, 2010; NRC, 2007; Ossa, 2006; Pagan, 2000; Reyes, 2006).

CONCENTRACIÓN EN SANGRE

A nivel sérico las concentraciones de Cu varían dependiendo de diversos autores, pero en general se consideran valores normales aquellos que se encuentran entre 0,85 - 2 mg/l o ppm (Cymbaluk & Christensen, 1986; Ossa, 2006; Puls, 1988; Stublely, Campbell, Dant, Blackmore, & Pierce, 1983).

MANGANESO (Mn)

El manganeso, pese a estar presente en cantidad extremadamente pequeñas en el organismo, es un mineral nutricionalmente esencial en el animal, debido a que juega un papel importante en procesos metabólicos y de síntesis, así como también, actuando en diversas enzimas como hidrolasas, kinasas, como parte de la arginasa, piruvato carboxilasa y Mn superóxido dismutasa (Grimwood, Penaluna, & Brown, 2016).



ALMACENAMIENTO

El Mn se encuentra distribuido por todo la mayoría de los tejidos del cuerpo en pequeñas cantidades, las mayores concentraciones están en huesos, hígado, riñón, páncreas y glándula pituitaria (Erikson & Aschner, 2019).

Luego de ser absorbido por el tracto gastrointestinal es distribuido a diferentes tejidos a través de la circulación sanguínea. Su absorción es afectada por niveles altos de Ca y P, viéndose disminuida, así como su excreción también se ve afectada por altas concentraciones de Ca y P lo que ocasiona una mayor excreción de Mn. De igual manera su absorción se ve aumentada ante una deficiencia de Fe (Chen, Bornhorst, & Aschner, 2018; Frape, 2010; Pagan, 2000; N. Suttle, 2010).

El Mn se excreta principalmente a través de la bilis, existiendo una gran absorción de Mn biliar. De esta manera, el principal control de la homeostasis del Mn se produce a través de la excreción biliar (Chen et al., 2018; Church et al., 2002; N. Suttle, 2010).

FUNCIONES

El Mn participa en diversos procesos fisiológicos como el metabolismo de carbohidratos y lípidos, síntesis de condroitín sulfato, el cual es esencial para la formación de cartílago, desarrollo óseo; mediante la síntesis de la matriz orgánica del hueso, que está compuesta principalmente por mucopolisacáridos. Así como también juega un rol como antioxidante de la mitocondria (Church et al., 2002; Erikson & Aschner, 2019; Hintz, 1994; N. Suttle, 2010).

PIRUVATO CARBOXILASA (PC)

La piruvato carboxilasa es una metaloenzima de manganeso que contiene biotina requerida para el metabolismo normal de lípidos y carbohidratos, la cual participa en la catálisis del piruvato dependiente de HCO_3^- y MgATP para formar oxalacetato. Esta reacción es muy importante ya que repone el oxalacetato extraído del ciclo del ácido tricarbóxico para varias vías bioquímicas fundamentales. Por lo tanto, la PC se considera una enzima crucial para el metabolismo intermedio, controlando la partición del combustible hacia la gluconeogénesis o lipogénesis y en la secreción de insulina (Jitrapakdee et al., 2008; Jitrapakdee & Wallace, 1999; Kaneko et al., 2008; Rodwell et al., 2006).

Mn SUPERÓXIDO DISMUTASA (Mn SOD)

La Mn superóxido dismutasa es la principal enzima de las mitocondrias que juega un papel fundamental como antioxidante celular. Las mitocondrias son los principales organelos de la célula que metabolizan el oxígeno, así mismo, son la principal fuente de especies reactivas de oxígeno en la célula, como el radical superóxido (O_2^-). Los radicales superóxido pueden participar en la producción de otros radicales, incluido el peroxinitrito (Holley, Bakthavatchalu, Velez-roman, & Clair, 2011; Kaneko et al., 2008; Rodwell et al., 2006; N. Suttle, 2010).

Esta enzima transforma el superóxido tóxico, un subproducto de la cadena de transporte de electrones mitocondrial, en peróxido de hidrógeno y oxígeno diatómico; de esta manera, permite que la Mn SOD elimine los radicales libres y, como resultado, confiera protección contra la muerte celular. De esta manera, esta enzima juega un papel antiapoptótico contra el estrés oxidativo, la radiación ionizante y las citocinas inflamatorias (Holley et al., 2011; Kaneko et al., 2008).

GLICOSILTRANSFERASAS (GT)

Las glicosiltransferasas (GT) son un grupo de enzimas responsables de la síntesis de enlaces glicosídicos simples y complejos. Este proceso se da por medio de la transferencia de un residuo de azúcar del donante a un sustrato receptor (Frape, 2010; Kaneko et al., 2008; N. Suttle, 2010).



Por lo general, las GT son muy específicas para sus sustratos donante y receptor. Dependiendo de la especificidad de GT, los monosacáridos, disacáridos y oligosacáridos, así como proteínas, lípidos, ADN y numerosas moléculas pequeñas y sus derivados son sustratos receptores. En consecuencia, las GT juegan un papel crucial en las rutas de biosíntesis de oligosacáridos, polisacáridos y proteínas y lípidos glicosilados (Kaneko et al., 2008; Rodwell et al., 2006; N. Suttle, 2010).

DEFICIENCIA DE Mn

Una baja concentración de Mn puede deberse a dietas altas en fitatos, calcio y fósforo, aumentado las demandas de Mn, las cuales si no se suplen ocasionan en el organismo problemas relacionados con el metabolismo tanto de carbohidratos como de lípidos, lo que puede conllevar a un acumulo de lípidos en ciertos órganos, así como un alteración en la formación de hormonas a partir del colesterol; también puede causar anomalías esqueléticas (debilidad del cartílago epifisiario y de la matriz ósea) y ataxia (si la deficiencia se da en animales jóvenes) (Church et al., 2002; Erikson & Aschner, 2019; Kaneko et al., 2008; Pagan, 2000; N. Suttle, 2010).

Se cree que la deficiencia de Mn es la causante del agrandamiento de los corvejones y, al afectar la placa de crecimiento, acorta las patas con los nudillos característicos de las articulaciones. Además, el cartílago de la placa de crecimiento en animales deficientes en manganeso contiene niveles más bajos de sulfato de condroitina que las placas de crecimiento de animales normales (Erikson & Aschner, 2019; McDonald et al., 2011; N. Suttle, 2010).

También, al jugar un papel importante en el control del estrés oxidativo, la deficiencia de Mn traería problemas en el control de los radicales libres dentro de las células. De igual forma puede incidir en problemas de presentación de celos e infertilidad en machos (Frape, 2010; Jackson, 2009; N. Suttle, 2010)

FUENTES Y REQUERIMIENTOS

El contenido de Mn en forrajes varía entre 40 y 200 mg / kg de MS. Sin embargo, el contenido de manganeso de los pastizales puede variar en un rango mucho más amplio y en condiciones ácidas puede llegar a 500-600 mg / kg de MS. Las semillas y los productos derivados de las semillas contienen cantidades moderadas, a excepción del maíz, cuya concentración es baja. La mayoría de los alimentos verdes contienen cantidades adecuadas (Church et al., 2002; Frape, 2010; McDonald et al., 2011).

Hay variedad en cuanto a los requerimientos de Mn dependiendo de los distintos autores, algunos mencionan valores entre 0,76 y 0,99 mg/kg de peso vivo o 320 a 500 mg/día en base a materia seca de ingesta. Según la recomendación de la NRC el requerimiento de Mn para un caballo en mantenimiento debe ser de 0,82 mg/kg de peso vivo por día o 40 ppm en base a materia seca (Frape, 2010; Jackson, 2009; NRC, 2007; Pagan, 2000).

CONCENTRACIÓN EN SANGRE

A nivel sérico las concentraciones de Mn varían dependiendo de diversos autores, pero en general se consideran valores normales aquellos que se encuentran entre 0,05 - 0,14 mg/l o ppm (Minini et al., 2013; Puls, 1988; Santiago, 2016; Youssef, El-khodery, & Mohamed, 2012).

ZINC (Zn)

El Zinc es un micromineral esencial en la dieta de los animales para un crecimiento y desarrollo normal; se distribuye ampliamente por los tejidos corporales del animal. Actúa en diferentes procesos fisiológicos como función estructural, catalítica y regulatoria en la actividad celular; y



como componente enzimático, principalmente de la anhidrasa carbónica la cual actúa en el transporte respiratorio del CO₂ (Church et al., 2002; Frape, 2010; Pagan, 2000).

De igual manera, actúa de manera importante en la expresión génica, la defensa antioxidante del organismo, el consumo de alimento, balance electrolítico, almacenamiento y secreción de hormonas (Kaneko et al., 2008; Ossa, 2006).

ALMACENAMIENTO

Está distribuido ampliamente por los tejidos del organismo animal, entre los sitios con mayor concentración tenemos a los huesos, hígado, riñón, músculo; siendo el hueso y el músculo (por constituir la mayor parte de la masa corporal) los mayores sitios de concentración del Zn (90%). También se encuentra en la piel y pelo de los animales (Frape, 2010; Ossa, 2006; Reyes, 2006).

Una vez ingerido, se absorbe en toda la extensión del intestino delgado, principalmente a través de las células intestinales; las cuales actúan como mecanismo de homeostasis de este micromineral. El movimiento de Zn desde las células intestinales hacia la circulación sanguínea se da gracias a la metalotioneína (Church et al., 2002; Kaneko et al., 2008; Ossa, 2006).

La absorción de Zn se ve severamente afectada cuando hay una alta concentración de Ca en la dieta y esta se ve aún más afectada cuando existe la presencia de fitatos, ya que se forman compuestos que impiden la absorción del Zn. Cuando hay un exceso en el consumo y por ende un sobrante de este mineral en la sangre, el Zn se une en el hígado a la metalotioneína; disminuyendo así los niveles sanguíneos de Zn (Church et al., 2002; Kaneko et al., 2008; Ossa, 2006; N. Suttle, 2010).

De igual manera los glucocorticoides participan en la acumulación de Zn en el hígado disminuyendo la concentración sanguínea. La excreción se da principalmente por vía fecal, a partir de excreciones biliares, intestinales y la descamación de células de la mucosa intestinal (Church et al., 2002; N. Suttle, 2010)

FUNCIONES

El Zn cumple funciones esenciales en el organismo, formando parte de más de 200 enzimas y activando otras, como son ARN nucleótido transferasas, anhidrasa carbónica, fosfatasa alcalina, entre otras; juega un papel en la replicación y diferenciación celular, inmunidad del organismo, metabolismo de carbohidratos, lípidos y ácidos nucleicos (Church et al., 2002; Frape, 2010; Reyes, 2006).

Así mismo, el Zn está presente en procesos como el metabolismo óseo, crecimiento y en los caballos participa en la prevención del “síndrome ortopédico de desarrollo”. Dentro del sistema inmunitario cumple la función de regular la apoptosis celular y actúa como cofactor de la Timulina, la cual es una hormona que interviene en la diferenciación de células T (Kaneko et al., 2008; Ossa, 2006; Reyes, 2006; N. Suttle, 2010).

FOSFATASA ALCALINA (FA)

La fosfatasa alcalina (FA) es una enzima que se halla presente en diferentes partes del organismo como huesos, hígado, intestino, entre otros. Su principal función es la de hidrolizar grupos de fosfatos (monofosfatos, pirofosfatos) que se hallan presentes en nucleótidos o proteínas (Kaneko et al., 2008; Rodwell et al., 2006).

De igual manera actúa en la síntesis proteica en las células y la calcificación de huesos y cartílagos. Tiene principal importancia en la hidrólisis del hueso; ya que actúa sobre el pirofosfato, el cual es un inhibidor de la mineralización, de esta manera al hidrolizar este compuesto permite que la mineralización se lleve a cabo (Kaneko et al., 2008; N. Suttle, 2010).



ANHIDRASA CARBÓNICA (AC)

La anhidrasa carbónica es una metaloenzima zinc dependiente, también llamada carbonato deshidratasa fue descrita por primera vez en el eritrocito. Pertenece a un grupo de enzimas cuya función es catalizar reacciones de eliminación no hidrolítica (Church et al., 2002; Kaneko et al., 2008).

A diario se producen grandes cantidades de CO₂ por el metabolismo oxidativo, este se combina con el agua y se dirige al torrente sanguíneo, dando como resultado la formación de ácido carbónico (H₂CO₃). La enzima anhidrasa carbónica presente en los glóbulos rojos y otras células tiene un rol importante en la catálisis del CO₂ para formar el ácido carbónico (H₂CO₃), reacción que se lleva a cabo de manera continua sin necesidad de la enzima, pero de manera muy lenta, mientras que en presencia de la enzima el equilibrio se alcanza en menos de 1s, dando lugar a un protón (H⁺) y un anión de bicarbonato (HCO₃⁻) (Kaneko et al., 2008; Rodwell et al., 2006; N. Suttle, 2010).

Cu/Zn SUPERÓXIDO DISMUTASA (Cu/Zn SOD)

En añadidura a lo mencionado anteriormente, estudios sugieren que el Zn puede llegar a proteger contra la peroxidación inducida por Fe al bloquear la unión de este en las superficies celular, sinérgicamente con la Vitamina E. También es un potente inductor de la metaloproteína llamada metalotioneína, que elimina los radicales libres y actúa a modo de sensor de reducción-oxidación (Kaneko et al., 2008; N. Suttle, 2010)

DEFICIENCIA

Una deficiencia de Zn en el organismo se manifiesta de maneras tales como bajo apetito, poco crecimiento del animal, anorexia; alteraciones en el pelaje como pelo áspero o pérdida de este. El proceso de cicatrización de heridas se ve considerablemente retrasado ante un déficit de Zn en la dieta. También se presentan problemas dérmicos, caracterizados principalmente por paraqueratosis (Murase, Sakai, Kusano, Hobo, & Nambo, 2013; Rosa, Fazzio, Picco, Furnus, & Mattiolo, 2008; Rubio, Weller, Revert, & Hardisson, 2007; Youssef et al., 2012).

Se ha registrado una reducción en el uso de la glucosa en animales con déficit de Zn, esta está ligada a un incremento en el metabolismo de los lípidos. De igual manera, un déficit de Zn en el organismo conlleva a problemas a nivel reproductivo, de desarrollo óseo e inmunológico, volviendo más vulnerable al animal hacia posibles infecciones (Rubio et al., 2007; Unger & Chiappe, 2008; Youssef et al., 2012).

FUENTES Y REQUERIMIENTOS

Las concentraciones de Zn en forrajes generalmente están entre 25-50 ppm, así mismo, la paja de cereales, cereales y semillas de los cereales poseen concentraciones similares, siendo más altas en la superficie de los granos (Jackson, 2009; Kaya-karasu, Huntington, Iben, & Murray, 2017; Pagan, 2000; Wells, LeRoy, & Ralston, 1990).

Los requerimientos de Zn no están bien establecidos, diversos autores postulan valores entre 320 a 500 mg/día en base a materia seca de ingesta, dependiendo del estado y actividad del animal. Según las recomendaciones de la NRC, para caballos en mantenimiento se recomienda 40 mg/kg en base a materia seca al día o 0,8 mg/kg de peso corporal (Frape, 2010; Jackson, 2009; Kaya-karasu et al., 2017; NRC, 2007; Pagan, 2000; Wells et al., 1990).

CONCENTRACIÓN EN SANGRE

A nivel sérico las concentraciones de Zn varían dependiendo de diversos autores, pero en general se consideran valores normales aquellos que se encuentran entre 0,6 - 1,7 mg/l o ppm (Auer, D.



E., Ng & Seawright, 1998; Aytakin, Onmaz, Aypak, Gunes, & Kucuk, 2011; Domínguez et al., 2017; Puls, 1988; Taylor et al., 2014).

Tabla 1. Valores séricos normales de Cu, Mn y Zn.

Micromineral Concentración sérica normal

Cu 0,85 - 2 mg/l o ppm

Mn 0,05 - 0,14 mg/l o ppm

Zn 0,60 - 1,70 mg/l o ppm

En cuanto al contenido mineral del pasto kikuyo, autores reportan niveles de Zn entre 30 a 70 ppm, Mn entre 49 a 357 ppm y Cu entre 7 y 29 ppm (Andrade, 2006; Correa, Carulla, & Pabón, 2008).

En cuanto al contenido mineral del pasto saboya, autores reportan niveles de Zn entre 12 a 34 ppm, Mn entre 65 a 136 ppm y Cu entre 3 y 9 ppm (Adjolohoun et al., 2012; Warly & Fariani, 2010)

Los objetivos son medir la concentración en suero sanguíneo de Cu, Mn y Zn en los animales muestreados en la Hacienda Pitaná ubicada en la parroquia Pifo en el cantón Quito. Medir la concentración sanguínea de Cu, Mn y Zn en los animales muestreados en la Hacienda Europa ubicada en la parroquia Chinca en el cantón Esmeraldas y comparar los resultados obtenidos entre sí.

2. Metodología

UBICACIÓN DEL ESTUDIO

El presente estudio se realizará en dos locaciones: en la Hacienda Pitaná con latitud -0.236587, longitud -78.257322 y una altura de 4000 msnm; ubicada en la parroquia de Pifo, cantón Quito de la provincia de Pichincha, con un clima templado-frío de 12 °C en promedio (8-16°C).

Y en la Hacienda “Europa” ubicada en la parroquia de Chinca con latitud 0.771713, longitud -79.555933) y una altura de 250 msnm; ubicada en la parroquia Chinca, cantón Esmeraldas de la provincia de Esmeraldas, con un clima tropical-semihúmedo de 25 °C en promedio (19-28°C).

POBLACIÓN Y TAMAÑO DE MUESTRA

Se utilizarán 15 equinos clínicamente sanos de cada locación, es decir, 15 equinos de la Hacienda Pitaná y 15 equinos de la Hacienda “Europa”, un total de 30 equinos. Una muestra de entre 15 a 20 animales es adecuada para estudios acerca de microminerales (Herdt & Hoff, 2011).

Se trabajará con toda la muestra disponible bajo los criterios de inclusión y exclusión. Para el presente estudio se utilizarán sueros sanguíneos sin distinción de sexo, con distinción de edad (mayores de 2 años), alimentación (exclusivamente a pastoreo), estado fisiológico (no preñez) y estado sanitario (saludable).

METODOLOGÍA DE CAMPO

La toma de muestra sanguínea se debe realizar con la debida asepsia a partir de una punción en la vena yugular; se utilizará el equipo de Vacutainer el cual consiste en una aguja, el capuchón y un tubo de tapa roja (sin EDTA) de 10 ml y se tomarán de 10 ml de sangre por equino muestreado. Posteriormente se realizará la identificación de cada muestra con los datos del equino para evitar confusiones o tomas de muestra dobles.

Una vez extraída la sangre, se centrifugará y el suero se lo colocará en un termo a temperatura controlada de 2 a 4° C hasta llegar al laboratorio de procesamiento de muestras. El laboratorio al



cual se enviarán las muestras es el Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Central del Ecuador de la Facultad de Ciencias Agrícolas ubicado en Jerónimo Leiton s/n y Av. La Gasca.

Se tomarán muestras del pasto en cada hacienda, para lo cual se harán 5 muestreos de las zonas donde pastorean los equinos, cada muestreo será de 100 g, con un total de 500 g por cada hacienda. El pasto se cortará con la ayuda de una hoz simulando la altura de corte por parte de los equinos y se lo empacará en fundas de papel comercio hasta su procesamiento en el laboratorio antes mencionado.

METODOLOGÍA DE LABORATORIO

Se obtendrá el suero inmediatamente después de la recolección, mediante centrifugación de las muestras de sangre a 3000 rpm durante 15 minutos en tubos de suero de 10 ml.

Para el tratamiento de las muestras sanguíneas, se utilizará el método DAS (Digestión Ácida Simple) de la siguiente forma (Luna et al., 2019):

1. 1 mL de suero obtenido se mezclará con 1 mL de HNO₃ al 69 % y 0.5 mL H₂O₂ al 33 % en tubos de polipropileno.
2. La mezcla será mantenida a 60 °C durante 2 horas, lo que permitirá la digestión de las muestras.
3. Los digeridos así obtenidos serán diluidos añadiendo 2.5 mL de agua ultra pura.
4. Se centrifugará a 2000 rpm durante 5 minutos y se someterá al análisis la muestra.

Las muestras serán sometidas posteriormente a espectrofotometría de absorción atómica, para la determinación de los microminerales (Zn, Cu, Mn).

3. Resultados y Discusión

La población de estudio fue de 30 caballos, distribuido en: 15 caballos de la Hacienda Pitaná y 15 caballos de la Hacienda La Europa; con un rango de edad mayor a los 2 años, alimentados solo a pastoreo y sanos.

En la Tabla 2, se describen los valores de referencia utilizados para las concentraciones séricas de Zn, Cu y Mn.

Tabla 2. Valores de referencia de la concentración sérica de los microminerales analizados

Niveles séricos	Cobre	Manganeso	Zinc
Deficiente	0,06 - 0,8 mg/l o ppm	<0,05 mg/l o ppm*	<0,50 mg/l o ppm*
Adecuado	0,85 - 2 mg/l o ppm*	0,05 - 0,14 mg/l o ppm*	0,60 - 1,70 mg/l o ppm*
Alto	>2 mg/l o ppm*	>0,14 mg/l o ppm*	1,60 - 3,50 mg/l o ppm*

* Valores referenciales sujetos a variación de acuerdo con varios autores investigados. Fuente: (Domínguez et al., 2017; Minini et al., 2013; Puls, 1988; N. F. Suttle et al., 1996; Youssef et al., 2012).

En la Tabla 3 y 4, se describen los valores obtenidos en el estudio para las concentraciones séricas de Zn, Cu y Mn; en ambos sitios de estudio.

Tabla 3. Valores de la concentración sérica obtenida de los microminerales analizados en el estudio en la Hacienda Pitaná.



Identificación	Parámetro (mg/L)		
	Cobre (Cu)	Manganeso (Mn)	Zinc (Zn)
P1	1,23	0,01	0,86
P2	1,04	0,02	0,78
P3	0,88	0,02	0,72
P4	0,78	0,02	0,40
P5	1,06	0,02	0,38
P6	0,74	0,05	0,55
P7	0,94	0,02	0,85
P8	0,80	0,01	0,45
P9	0,88	0,03	0,53
P10	0,60	0,04	0,43
P11	0,76	0,02	0,55
P12	1,05	0,02	0,68
P13	0,83	0,02	0,57
P14	0,73	0,02	0,47
P15	0,95	0,04	0,49

Tabla 4. Valores de la concentración sérica obtenida de los microminerales analizados en el estudio en la Hacienda Europa.

Identificación	Parámetro (mg/L)		
	Cobre (Cu)	Manganeso (Mn)	Zinc (Zn)
E1	0,72	0,02	0,83
E2	1,06	0,01	0,78
E3	1,22	0,01	0,83
E4	0,84	0,02	0,73
E5	0,79	0,01	0,59
E6	0,89	0,01	0,64
E7	1,11	0,02	0,61
E8	0,75	0,01	0,78
E9	0,96	0,01	0,65



E10	1,04	0,01	0,55
E11	1,21	0,01	0,63
E12	0,80	0,01	0,58
E13	0,90	0,01	0,55
E14	0,87	0,01	0,53
E15	0,82	0,02	0,63

En la Tabla 5, se describen los valores de cada micromineral presente en los dos tipos de pasturas (kikuyo y pasto saboya).

Tabla 5. Composición micromineral de pasto saboya y kikuyo.

Parámetro	Unidad	Identificación	
		Pasto Saboya	Kikuyo
Materia seca	%	17,2	14,9
Cobre (Cu)	mg/L	10,6	7,8
Manganeso (Mn)		37,6	44,8
Zinc (Zn)		46,4	37,0

Resultados reportados en base seca.

En la Tabla 6, se describen los valores promedios de cada micromineral en los animales analizados en la Hacienda Pitaná y Hacienda Europa.

Tabla 6. Valores promedios de la concentración sérica de los microminerales en estudio en la Hacienda Pitaná y la Hacienda Europa.

Variable	Hacienda	Media \pm SE	Mediana	Rango	Rango de referencia
Cu mg/l	Pitaná (pasto kikuyo)	0,884 \pm 0,042	0,88	0,60-1,23	0,85 - 2 mg/l o ppm*
	Europa (pasto saboya)	0,932 \pm 0,041	0,89	0,72-1,22	
Mn mg/l	Pitaná (pasto kikuyo)	0,024 \pm 0,002	0,02	0,01-0,05	0,05 - 0,14 mg/l o ppm *
	Europa (pasto saboya)	0,012 \pm 0,002	0,01	0,01-0,02	
Zn mg/l	Pitaná (pasto kikuyo)	0,580 \pm 0,041	0,55	0,38-0,86	0,60 - 1,70 mg/l o ppm*
	Europa (pasto saboya)	0,660 \pm 0,026	0,63	0,53-0,83	

* Valores referenciales sujetos a variación de acuerdo con varios autores investigados. Fuente: (Domínguez et al., 2017; Minini et al., 2013; Puls, 1988; N. F. Suttle et al., 1996; Youssef et al., 2012).



En la Tabla 7, se describe la comparación de los microminerales (Cu, Mn y Zn) entre los animales muestreados en la Hacienda Pitaná y la Hacienda Europa.

Tabla 7. Valores de microminerales séricos (Cu, Mn y Zn) comparados entre haciendas.

Variables	Haciendas		Valor p
	Hacienda Pitaná (pasto kikuyo) (4000 m.s.n.m.)	Hacienda Europa (pasto saboya) (250 m.s.n.m.)	
Cu (mg/L)	0,884 ^a ± 0,042	0,932 ^a ± 0,041	0,431
Mn (mg/L)	0,024 ^a ±0,002	0,012 ^b ±0,002	0,001
Zn (mg/L)	0,580 ^a ± 0,041	0,660 ^a ± 0,026	0,114

Medias con una letra común en sentido horizontal no presentan diferencia significativa ($p > 0,05$). Medias con una letra diferente en sentido horizontal presentan diferencia significativa ($p < 0,05$).

En la Tabla 7 se pueden observar los promedios de la concentración sérica de los microminerales (Cu, Mn y Zn) en la Hacienda Pitaná (pasto kikuyo) y en la Hacienda Europa (pasto saboya). Presentando valores de Cu=0,884 mg/L, Mn=0,024 mg/L y Zn=0,58 mg/L para la Hacienda Pitaná; y Cu=0,932 mg/L, Mn=0,012 mg/L y Zn=0,660 mg/L para la Hacienda Europa.

COBRE

Como se puede apreciar en la Tabla 8, en el presente estudio no se encontró diferencia significativa ($p > 0,05$) en cuanto a las concentraciones séricas de Cu en ambas poblaciones de estudio, a pesar de que el pasto saboya presentó una concentración más elevada de Cu que el pasto kikuyo, por lo que se evidencia que la alimentación a base de pasto (Kikuyo o Saboya) no influyó en las concentraciones de este mineral en el caballo.

Los valores séricos promedio de Cu en ambos sitios de estudio se encuentran dentro de los parámetros de referencia utilizados en este trabajo. Asimismo, varios autores consultados en este estudio obtuvieron valores séricos de Cu que se encuentran dentro de los utilizados como referencia (Aytekin et al., 2011; Frape, 2010; Kavazis, Kivipelto, & Ott, 2002; Stublely et al., 1983). Autores como Youssef et al., (2012) mencionan valores con un rango más amplio respecto a la concentración sérica de Cu, siendo esta de 0,699 a 2,801 mg/L. De igual manera, en la literatura consultada, diversos autores mencionan valores séricos de Cu menores a los usados como referencia en este trabajo; siendo estas concentraciones séricas desde 0,246 mg/L hasta 1,82 mg/L como máximo (Auer, D. E., Ng & Seawright, 1998; Boulou et al., 2013; Koenhemsí, Alkan, Morgantí, Barutçu, & Or, 2019; Minini et al., 2013; Neustädter, Kamphues, & Ratert, 2017; Pourmohammad, Mohri, Seifi, & Sardari, 2019; Shawaf, Almathen, Meligy, El-deeb, & Al-bulushi, 2017; N. Suttle, 2010; Taylor et al., 2014; Yörük, Deger, Mert, Mert, & Veysel, 2007). Dede, Değer, Değer, & Tanritanir, (2008) presentan un valor de 0.107 mg/L siendo este el menor valor encontrado en la literatura.

Existen varianzas en las concentraciones séricas de Cu, según la literatura consultada, estas se deben a la influencia de diversos factores, como por ejemplo el tipo de alimentación, ya que no todos los pastos presentan un nivel adecuado de minerales y se producen desbalances, el tipo de suelo, número de animales en estudio, factores propios del animal como son edad, estado fisiológico, actividad diaria, estado de salud.

Estudios realizados por Youssef et al., (2012) demuestran que animales que presentan enfermedades respiratorias, dependiendo de la gravedad, mostraron concentraciones séricas de Cu menores y por ende una actividad antioxidante menor. Así mismo, Aytekin et al., (2011) plantean una relación entre una baja concentración sérica de Cu y la presencia de pica en caballos.



Yörük et al., (2007) plantea en sus estudios que la concentración sérica de Cu se ve disminuida en caballos que presentan infecciones con Herpersvirus Equino tipo 1; de igual manera, Dede et al., (2008) menciona que existe un aumento en los niveles séricos de Cu en caballos que presenten una infección parasitaria aguda.

Neustädter et al., (2017) señalan que el número de animales bajo estudio también es un factor influyente en los resultados que se obtengan. Como mencionan Herdt & Hoff, (2011), para un estudio de concentraciones séricas de microminerales, un número adecuado de sujetos bajo estudio va entre 15-20 animales; en el presente estudio se siguió dicha recomendación.

Según Ghorbani, Mohit, & Kuhi, (2015) los niveles de Cu séricos pueden verse afectados por factores propios del animal como la edad o el género. De igual manera factores como la alimentación, la estación del año y la presencia en mayor o menor cantidad de otros minerales pueden afectar las concentraciones séricas de Cu en caballos (Auer, D. E., Ng & Seawright, 1998).

MANGANESO

Como se puede apreciar en la Tabla 8, en cuanto a la comparación entre las concentraciones séricas de Mn en ambas poblaciones de estudio si existe diferencia significativa ($p < 0,05$), siendo mayor en los caballos alimentados a base de pasto kikuyo, el cual presentó una concentración mayor de Mn que el pasto saboya (44,8 mg/L comparado con 37,6 mg/L del pasto saboya); por lo que se evidencia que la alimentación a base de pasto (Kikuyo y Saboya) si presenta influencia en las concentraciones de este mineral en el caballo; pese a que ambas están por debajo de los valores referenciales utilizados.

Diversos autores reportan valores que difieren con los encontrados en este estudio y con los utilizados como referencia; así, Shawaf et al., (2017) presenta valores de Mn sérico de 0.66 a 0.98 mg/L, el cual excede a los valores obtenidos y usados como referencia. De igual manera algunos autores consultados mencionan valores de Mn sérico menores a los usados como referencia; yendo desde 0,0003 a 0,02 mg/L (Ciesla, 2002; Koenhemsí et al., 2019; Pourmohammad et al., 2019; Youssef et al., 2012).

Según Ciesla, (2002), Shawaf et al., (2017) y N. Suttle, (2010) se menciona que la concentración de Mn en el organismo es muy baja y difícil de medir, dependiendo de los equipos y reactivos que se usen, así como la calidad de la muestra usada; debido a esto hay poca información y valores muy diversos

Otros factores que afectan la concentración sérica de Mn son el tipo de dieta, la época del año, la actividad física y el estado de salud de los caballos. En estudios realizados por Domínguez et al., (2017) se menciona que, en estaciones lluviosas las concentraciones de Mn en las pasturas está por debajo de los requerimientos del caballo, lo que deriva en un poco ingesta de Mn, resultando en una concentración sérica menor. Minini et al., (2013) explica en sus estudios que, los niveles séricos de Mn pueden disminuir en caballos que hayan tenido actividad física reciente antes de la toma de muestras.

Se ha demostrado que caballos parasitados presentan concentraciones séricas bajas de Mn, así mismo, se ha reportado que caballos con enfermedades respiratorias presentan niveles más altos de Mn en suero, como respuesta al estrés oxidativo (Ibrahim, 2014; Özdek, Oğuz, Kömüroğlu, & Değer, 2020; Youssef et al., 2012).

ZINC

Así como se expresa en la Tabla 8, no se encontró diferencia significativa ($p > 0,05$) en cuanto a las concentraciones séricas de Zn en ambas poblaciones de estudio, demostrando que la alimentación a base de pasto (Kikuyo o Saboya) no influyó en las concentraciones de este mineral en el caballo, pese a que la muestra de pasto saboya de la Hacienda Europa mostró una concentración más alta de Zn.



Las concentraciones séricas promedio de Zn en la Hacienda Europa se encuentra dentro de los parámetros de referencia utilizados en este trabajo, mientras que los resultados obtenidos de la Hacienda Pitaná son ligeramente inferiores a los usados como referencia. En concordancia con nuestros resultados, varios autores consultados obtuvieron valores séricos de Zn que coinciden con los utilizados como referencia (Aytekin et al., 2011; Frape, 2010; Kavazis et al., 2002; Pourmohammad et al., 2019; Stubley et al., 1983).

Autores como Taylor et al., (2014) mencionan una concentración sérica de Zn mucho mayor a las usadas como referencia, siendo esta de 0,98 a 4,50 mg/L. De igual manera, diversos autores consultados mencionan valores séricos de Zn menores a los usados como referencia; siendo estas concentraciones séricas desde 0,078 mg/L hasta 0,79 mg/L como máximo encontrado (Auer, D. E., Ng & Seawright, 1998; Koenhemsí et al., 2019; Minini et al., 2013; Neustädter et al., 2017; Pourmohammad et al., 2019; Shawaf et al., 2017; N. Suttle, 2010; Yörük et al., 2007).

Youssef et al., (2012) demuestra en su estudio la disminución en la concentración sérica de Zn en caballos con enfermedad respiratoria crónica, lo que conlleva a un aumento del estrés oxidativo y un mal funcionamiento del sistema inmune. Disminuciones en los niveles séricos de Zn, según Auer, D. E., Ng & Seawright, (1998), pueden provocarse debido a factores nutricionales, como una dieta desbalanceada, y a factores estacionales; estos mismos factores han sido sugeridos por Shawaf et al., (2017) en su estudio donde analiza microminerales en sueros de caballos y burros.

Según Minini et al., (2013), en sus estudios se postula que en caballos exigidos físicamente se presenta una disminución en la concentración sérica de Zn debido a la pérdida de este micromineral a través del sudor. Otras situaciones propuestas por Murase et al., (2013) que influyen en una disminución de las concentraciones séricas de Zn son la presencia de enfermedad inflamatoria, después de una intervención con el uso de anestesia general y en neumonías bacterianas.

Dede et al., (2008) y Koenhemsí et al., (2019) sugieren que, en caballos diagnosticados con piroplasmosis (causada por *T. equi* y *B. caballi*) se produce una disminución del zinc sérico debido a la presencia de estos parásitos en los glóbulos rojos y a cambios bioquímicos que llevan a una anemia. De igual manera, en caballos infectados con Herpesvirus Equino tipo 1 existe una disminución en los niveles séricos de Zn según lo plantea Yörük et al., (2007).

4. Conclusión

- La concentración sérica promedio de Cu, Mn y Zn medida en caballos de la Hacienda Pitaná ubicada en la parroquia Pifo en el cantón Quito fue de $0,884 \pm 0,042$ mg/L, $0,024 \pm 0,002$ mg/L y $0,580 \pm 0,041$ mg/L, respectivamente.
- La concentración sérica promedio de Cu, Mn y Zn medida en caballos de la Hacienda Europa ubicada en la parroquia Chinca en el cantón Esmeraldas fue de $0,932 \pm 0,041$ mg/L, $0,012 \pm 0,002$ mg/L y $0,660 \pm 0,026$ mg/L, respectivamente.
- La concentración sérica de Cu y Zn no presentaron diferencia significativa entre los equinos alimentados a base de kikuyo versus los equinos alimentados a base de pasto saboya.
- La concentración sérica de Mn si presentó una diferencia significativa entre los equinos alimentados a base de kikuyo comparada con los equinos alimentados a base de pasto saboya, siendo los valores más altos en los equinos alimentados a base de kikuyo en la Hacienda Pitaná.



Equinos de la Hacienda Pitana



Equinos Hacienda Europa



Extracción de sangre.



Referencias Bibliográficas

- Adjolohoun, S., Dahouda, M., Adandedjan, C., Toleba, S., Houinato, M., Nonfon, R., & Sinsin, B. (2012). Diversité et caractérisation morphologique des écotypes de l'espèce fourragère *Panicum maximum* au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(5), 2043–2054. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v6i5.14>
- Andrade, M. (2006). *Evaluación de técnicas de manejo para mejorar la utilización del pasto kikuyo (Pennisetum clandestinum Hochst. ex Chiov) en la producción de ganado lechero en Costa Rica*. Universidad de Costa Rica.
- Arango Gaviria, J., Echeverri Zuluaga, J., & López Herrera, A. (2019). Diversity of Kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus*): A review. *Journal of Engineering Sciences*, 24(2), 81–88.



<https://doi.org/10.22463/0122820x.1834>

- Arango, J., Cardona, F., López, A., Correa, G., & Echeverri, J. (2017). Variación de caracteres morfológicos del pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) en el trópico alto de Antioquia. *Rev. CES Med. Zootec.*, 12(1), 44-52.
- Araujo, E., Silva, R., Araújo, A., Monteiro, J., & Holanda, L. (2021). SOD1, more than just an antioxidant. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 15(697), 108701. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2020.108701>
- Auer, D. E., Ng, J. C., & Seawright, A. A. (1998). Assessment of copper and zinc status of farm horses and training thoroughbreds in south-east Queensland. *Australian Veterinary Journal*, 65(10), 317-320.
- Aytekin, I., Onmaz, A., Aypak, S., Gunes, V., & Kucuk, O. (2011). Changes in Serum Mineral Concentrations, Biochemical and Hematological Parameters in Horses with Pica. *Biol Trace Elem Res*, 139, 301-307. <https://doi.org/10.1007/s12011-010-8660-y>
- Bakavayev, S., Chetrit, N., Zvagelsky, T., Mansour, R., Vyazmensky, M., Barak, Z., ... Engel, S. (2019). Cu/Zn-superoxide dismutase and wild-type like fALS SOD1 mutants produce cytotoxic quantities of H₂O₂ via cysteine-dependent redox short-circuit. *Scientific Reports*, 9.
- Boulou, P., Noro, M., Böhmwald, H., & Wittwer, F. (2013). Asociaciones entre las concentraciones de cobre sérico , cobre hepático y ceruloplasmina sérica en equinos. *Revista MVZ Córdoba*, 18(3), 3891-3896.
- Chandrasekharan, B., Montllor-Albalate, C., Colin, A., Andersen, J., Jang, Y., & Reddi, A. (2021). Cu/Zn Superoxide Dismutase (Sod1) regulates the canonical Wnt signaling pathway. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 534, 720-726.
- Chen, P., Bornhorst, J., & Aschner, M. (2018). Manganese metabolism in humans. *Front Biosci (Landmark Ed)*, 23, 1655-1679.
- Church, D. C., Pond, W. G., & Pond, K. R. (2002). *Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales* (2da ed.). Editorial Limusa.
- Ciesla, A. (2002). Mangan w surowicy krwi i sierści koni. *Medycyna Weterynaryjna*, 58(8), 644-645.
- Correa, J., Carulla, J., & Pabón, M. (2008). Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.). *Livestock Research For Rural Development*, 20(4), 7. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/266316988>
- Coskun, A., Ozdemir, O., Erol, M., & Kirbiyik, H. (2016). The relationship of copper concentrations in feed and plasma to developmental orthopedic disease in foals. *VETERINARSKI ARHIV*, 86(3), 287-294.
- Cymbaluk, N. F., & Christensen, D. A. (1986). Copper, zinc and manganese concentrations in equine liver, kidney and plasma. *The Canadian Veterinary Journal*, 27, 206-210.
- Dede, S., Değer, Y., Değer, S., & Tanritanir, P. (2008). Plasma Levels of Zinc, Copper, Copper/Zinc



- Ratio, and Activity of Carbonic Anhydrase in Equine Piroplasmosis. *Biol Trace Elem Res*, 125(1), 4-45.
- Dell, B. L. O., & Ph, D. (1976). Biochemistry of Copper. *Medical Clinics of North America*, 60(4), 687-703. [https://doi.org/10.1016/S0025-7125\(16\)31853-3](https://doi.org/10.1016/S0025-7125(16)31853-3)
- Derichs, K. (2017). *Evaluación de diferentes intervalos de corte sobre el rendimiento de materia seca de pasto saboya (Panicum maximum) y la composición química del ensilaje*. Universidad Central del Ecuador.
- Domínguez, I., Sánchez, E., Medina, P., Montes de Oca, R., Alberto, R., Morales, E., ... Salem, A. (2017). Mineral Status and Interrelationship in Soil, Forage and Blood Serum of Horses in the Rainy and Dry Season. *Journal of Equine Veterinary Science*, 49, 101-107. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2016.09.001>
- Duchimaza, D., & Morocho, X. (2018). Aspectos relevantes en los sistemas de producción de equinos (artículo reseña) David. *Revista E*, 2(1), 18-37.
- Duchimaza, D., Morocho, X., Soria, M., & Guevara, G. (2018). El componente manejo del pastizal en la caracterización de sistemas de explotación equina en la provincia del Azuay. *Revista Ecuatoriana de Ciencia Animal*, 2(2), 32-42.
- Erikson, K. M., & Aschner, M. (2019). Manganese : Its Role in Disease and Health. *Metal Ions in Life Sciences*, 19, 253-266.
- Escobar, M., Cárdenas, E., & Carulla, J. (2020). Effect of altitude and defoliation frequency in the quality and growth of Kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 73(1), 9121-9130.
- Feoktistova, L., Yulia, V., & Feoktistova, C. (2018). El metabolismo del cobre . Sus consecuencias para la salud humana. *Medisur*, 16(4), 6-9.
- Frape, D. (2010). *Equine Nutrition & Feeding* (4th ed.). Blackwell.
- Ghorbani, A., Mohit, A., & Kuhl, H. D. (2015). Effects of Dietary Mineral Intake on Hair and Serum Mineral Contents of Horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, 35, 295-300. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2015.01.018>
- Grimwood, K., Penaluna, L., & Brown, H. (2016). Journal of Equine Veterinary Science A Preliminary Investigation Into the Mineral Intake of Horses in the UK. *Journal of Equine Veterinary Science*, 36, 44-48. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2015.09.012>
- Guaña, L. (2014). *PRODUCCIÓN DEL KIKUYO (Pennisetum clandestinum Hochst) CON DOS ALTURAS DE CORTE, CINCO NIVELES DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y EN MEZCLA CON TRÉBOL BLANCO (Trifolium repens L)*. Universidad Central del Ecuador.
- Hellman, N. E., & Gitlin, J. D. (2002). CERULOPLASMIN METABOLISM AND FUNCTION. *Annual Review of Nutrition*, 22, 439-458. <https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.22.012502.114457>
- Herdt, T. H., & Hoff, B. (2011). The Use of Blood Analysis to Evaluate Trace Mineral Status in Ruminant Livestock. *Veterinary Clinics of NA: Food Animal Practice*, 27(2), 255-283. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2011.02.004>



- Hintz, H. F. (1994). Nutrition of the horse. *Annual Review of Nutrition*, 14, 243–267.
- Holley, A. K., Bakthavatchalu, V., Velez-roman, J. M., & Clair, D. K. S. (2011). Manganese Superoxide Dismutase : Guardian of the Powerhouse. *Journal of Molecular Sciences*, 12, 7114–7162. <https://doi.org/10.3390/ijms12107114>
- Ibrahim, H. (2014). Oxidative stress associated with spasmodic, flatulent, and impaction colic in draft horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, 34(10), 1205–1210. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2014.08.002>
- Jackson, S. (2009). TRACE MINERALS FOR THE PERFORMANCE HORSE: KNOWN BIOCHEMICAL ROLES AND ESTIMATES OF REQUIREMENTS. *Advances in Equine Nutrition*, 1, 205–214. Retrieved from <http://ezproxy.nmit.vic.edu.au/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat00793a&AN=nmit.81641&site=eds-live>
- Jitrapakdee, S., Maurice, M. S. T., Rayment, I., Cleland, W. W., Wallace, J. C., & Attwood, P. V. (2008). Structure , mechanism and regulation of pyruvate carboxylase. *Biochem J*, 413, 369–387. <https://doi.org/10.1042/BJ20080709>
- Jitrapakdee, S., & Wallace, J. (1999). Structure , function and regulation of pyruvate carboxylase. *Biochem J*, 340, 1–16.
- Kaneko, J., Harvey, J., & Bruss, M. (2008). *Clinical Biochemistry of Domestic Animals* (6th ed.). Academic Press.
- Kavazis, A. N., Kivipelto, J., & Ott, E. A. (2002). Supplementation of broodmares with copper, zinc, iron, manganese, cobalt, iodine, and selenium. *Journal of Equine Veterinary Science*, 22, 460–464. <https://doi.org/10.1053/jevs.2002.37342>
- Kaya-karasu, G., Huntington, P., Iben, C., & Murray, J. (2017). Feeding and Management Practices for Racehorses in Turkey. *Journal of Equine Veterinary Science*, 61, 108–113. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2017.04.009>
- Koenhemsĭ, L., Alkan, F. A., Morgantiĭ, Gĭ., Barutĉu, B. Ū., & Or, E. M. (2019). Evaluation of trace elements in equine piroplasmosis. *Med. Weter.*, 75(8), 510–512.
- Laczko, R., & Csiszar, K. (2020). Lysyl Oxidase (LOX): Functional Contributions to Signaling Pathways. *Biomolecules*, 10(8), 1093.
- Lúa, K. (2020). *Estudio de los macroelementos secundarios (Calcio, Magnesio y Azufre) en la calidad nutricional del pasto Saboya (Megathyrsus maximus)*. Universidad Técnica de Babahoyo.
- Luna, D., Miranda, M., Minervino, A. H. H., Piñeiro, V., Herrero-Latorre, C., & López-Alonso, M. (2019). Validation of a simple sample preparation method for multielement analysis of bovine serum. *PloS One*, 14, 1–10.
- Malave, W. (2019). *Valoración del contenido nutricional del pasto Saboya (Panicum máximo jacq) con diferentes niveles de fertilización y época de corte en la zona de Babahoyo - Provincia de Los Ríos*. Universidad Técnica de Babahoyo.



- Marín, M., López, F., Hernández, O., & Arriaga, C. (2020). Kikuyu pastures associated with tall fescue grazed in autumn in small-scale dairy systems in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 52, 1919–1926.
- McDonald, P. (1999). *Nutricion Animal* (5ta ed.). Editorial Acribia.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A., Sinclair, L. A., & Wilkinson, R. G. (2011). *Animal Nutrition*. (Prentice Hall/Pearson, Ed.) (7th ed.). New York.
- Minini, R. A., Laposy, C. B., Neto, H. B., Melchert, A., Giuffrida, R., De Rossi, H., & do Valle, H. F. (2013). Concentrações de ferro, cobre, zinco e manganês em equinos da raça Puro-sangue Lusitano, antes e após exercício. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 33(8), 1045–1048.
- Moran, C. (2019). *Comparación de dos intervalos de Cortes del pasto Saboya (Panicum máximum Jacq.), en su rendimiento de biomasa y valor nutritivo*. Universidad Técnica de Babahoyo.
- Murase, H., Sakai, S., Kusano, K., Hobo, S., & Nambo, Y. (2013). Serum Zinc Levels and Their Relationship with Diseases in Racehorses. *Journal of Veterinary Medical Science*, 75(1), 37–41. <https://doi.org/10.1292/jvms.12-0122>
- Neustädter, L., Kamphues, J., & Ratert, C. (2017). Influences of different dietary contents of macrominerals on the availability of trace elements in horses. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 0, 1–8. <https://doi.org/10.1111/jpn.12805>
- NRC. (2007). *Nutrient Requirements of Horses: Sixth Revised Edition* (6th ed.). USA: National Academies Press.
- Ossa, S. (2006). *Efecto de dos suplementos minerales entregados en formas químicas distintas sobre la concentración plasmática de cobre y zinc en potrillos fina sangre de carrera*. Universidad de Chile.
- Özdek, U., Oğuz, B., Kömüroğlu, U., & Değer, Y. (2020). Determination of the levels of serum oxidative indicator , cytokine and some biochemical parameters in horses naturally infected with Theileria equi. *Ankara Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi*, 67, 257–263.
- Pagan, J. O. E. D. (2000). MICROMINERAL REQUIREMENTS IN HORSES. *Advances in Equine Nutrition*, 2, 317–328.
- Pearce, S. G., Grace, N. D., Firth, E. C., Wichtel, J. J., Holle, S. A., & Fennessy, P. F. (1998). Effect of copper supplementation on the copper status of pasture-fed young Thoroughbreds. *Equine Veterinary Journal*, 30, 204–210.
- Pourmohammad, R., Mohri, M., Seifi, H., & Sardari, K. (2019). Effect of exercise on some minerals , metabolites and enzyme activities in the serum of trained Arabian horses. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 43, 791–799. <https://doi.org/10.3906/vet-1905-82>
- Puls, R. (1988). *Mineral Leves in Animal Health. Diagnostic Data*. (B. C.Clearbrook, Ed.). British Columbia: Sherpa International.
- Ralston, S. L. (1990). Clinical Nutrition of Adult Horses. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 6(2), 339–354. [https://doi.org/10.1016/S0749-0739\(17\)30545-X](https://doi.org/10.1016/S0749-0739(17)30545-X)
- Reyes, M. (2006). *Suplementación con Cobre y Zinc en dos formas químicas sobre la adecuación*



- mineral de yeguas gestantes y sus crías hasta los 30 días de edad. Universidad de Chile.
- Rodwell, V., Bender, D., Botham, K., Kennelly, P., & Weil, A. (2006). *Harper's Illustrated Biochemistry*. (Lange, Ed.) (30th ed.). McGraw-Hill.
- Rosa, D., Fazzio, L., Picco, S., Furnus, C., & Mattiolo, G. (2008). Metabolismo y deficiencia de zinc en bovinos. *Analecta Veterinaria*, 28(2), 34-44.
- Rubio, C., Weller, D. G., Revert, C., & Hardisson, I. R. A. (2007). El zinc : oligoelemento esencial. *Nutrición Hospitalaria*, 22(1), 101-107.
- Rucker, R. B., Kosonen, T., Clegg, M. S., Mitchell, A. E., Rucker, B. R., Uriu-hare, J. Y., & Keen, C. L. (1998). Copper , lysyl oxidase , and extracellular matrix protein cross-linking. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 67(5), 996-1002.
- Santiago, M. (2016). *Perfil mineral del caballo de polo en reposo y post-ejercicio en relación a su alimentación*. Pontificia Universidad Católica Argentina.
- Shawaf, T., Almathen, F., Meligy, A., El-deeb, W., & Al-bulushi, S. (2017). Biochemical analysis of some serum trace elements in donkeys and horses in Eastern region of Kingdom of Saudi Arabia. *Veterinary World*, 10(10), 1269-1274. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2017.1269-1274>
- Shimada, A. (2003). *NUTRICION ANIMAL*. (Trillas, Ed.).
- Stubley, D., Campbell, C., Dant, C., Blackmore, D. J., & Pierce, A. (1983). Copper and zinc levels in the blood of Thoroughbreds in training in the United Kingdom. *Equine Veterinary Journal*, 15, 253-256.
- Suttle, N. (2010). *Mineral Nutrition of Livestock, 4th Edition* (4th ed.). London: CABI.
- Suttle, N. F., Small, J. N. W., Collins, E. A., Masont, D. K., Watkinss, K. L., Road, G., & Eh, E. (1996). Serum and hepatic copper concentrations used to define normal , marginal and deficient copper status in horses. *Equine Veterinary Journal*, 28(6), 497-499.
- Taylor, P., Massanyi, P., Stawarz, R., Halo, M., Formicki, G., Lukac, N., ... Kovacik, J. (2014). Blood concentration of copper , cadmium , zinc and lead in horses and its rel. *Journal of Environmental Science and Health*, 49, 973-979. <https://doi.org/10.1080/10934529.2014.894322>
- Unger, M., & Chiappe, B. (2008). Importancia fisiológica de los microminerales en el metabolismo óseo. *Revista Electronica de Veterinaria*, 9(10), 1-17.
- Vargas, Juan, Sierra, A., Mancipe, E., & Avellaneda, Y. (2018). El kikuyo, una gramínea presente en los sistemas de rumiantes en trópico alto colombiano. *Rev. CES Med. Zootec.*, 13(2), 137-156.
- Vargas, Julio, Arteaga, Y., García, Y., & Cevallos, M. (2016). Digestibilidad “ In vivo ” por ovinos Pelibuey a partir de dietas en base a Pasto Saboya. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 17(4).
- Wagner, E. L., Potter, G. D., Gibbs, P. G., Eller, E. M., Scott, B. D., Vogelsang, M. M., & Walzem, R. L. (2010). Copper , Zinc-Superoxide Dismutase Activity in Exercising Horses Fed Two Forms of Trace Mineral Supplements. *Journal of Equine Veterinary Science*, 30(1), 31-37.



<https://doi.org/10.1016/j.jevs.2009.11.008>

- Warly, L., & Fariani, A. (2010). Concentration of Micro Minerals in Fiber Fraction of Forages. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 44, 44, 1206–1212.
- Wells, L., LeRoy, R., & Ralston, S. (1990). MINERAL INTAKE AND HAIR ANALYSIS OF HORSES IN ARIZONA. *Equine Veterinary Journal*, 10(6), 412–416.
- Yörük, İ., Deger, Y., Mert, H., Mert, N., & Veysel, A. (2007). Serum concentration of copper, zinc, iron, and cobalt and the copper/zinc ratio in horses with equine herpesvirus-1. *Biological Trace Element Research*, 118, 38–42. <https://doi.org/10.1007/s12011-007-0023-y>
- Youssef, M., El-khodery, S., & Mohamed, H. (2012). Antioxidant Trace Elements in Serum of Draft Horses with Acute and Chronic Lower Airway Disease. *Biological Trace Element Research*, 150(1-3), 123–129. <https://doi.org/10.1007/s12011-012-9471-0>

Conflicto de Intereses: Los autores declaran que no tienen conflictos de intereses relacionados con este estudio y que todos los procedimientos seguidos cumplen con los estándares éticos establecidos por la revista. Asimismo, confirman que este trabajo es inédito y no ha sido publicado, ni parcial ni totalmente, en ninguna otra publicación.