



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA NATURALEZA
ESCUELA DE MEDICINA VETERINARIA
CARRERA MEDICINA VETERINARIA
SEDE CONCEPCIÓN**

**CONCENTRACIÓN SANGUÍNEA DE SELENIO EN CABALLOS Y SU
RELACIÓN CON ASPECTOS METABÓLICOS CARENCIALES,
TOXICOLÓGICOS Y DE RENDIMIENTO DEPORTIVO: REVISIÓN
BIBLIOGRÁFICA**

Memoria para optar al título de Médico Veterinario

Profesor Tutor: MCs Hipólito Chávez Caro

Estudiante: Daniela Molina Muñoz

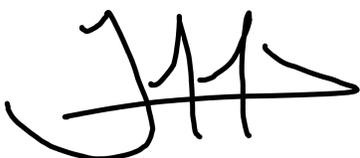
© **Daniela Patricia Molina Muñoz, Hipólito Chávez Caro.**

Se autoriza la reproducción parcial o total de esta obra con fines académicos, por cualquier forma, medio o procedimiento, siempre y cuando se incluya la cita bibliográfica del documento.

Concepción, Chile
2023

CALIFICACIÓN DE LA MEMORIA

En Concepción, el 17 de Julio de 2023, los abajo firmantes dejan constancia de que la alumna DANIELA PATRICIA MOLINA MUÑOZ de la carrera de MEDICINA VETERINARIA ha aprobado la memoria para optar al título de MÉDICO VETERINARIO con nota 5,6.



MCs Patricio Guzmán Labraña
Profesor Evaluador



MARCELO RABY CIFUENTES
Médico Veterinario
RUT-15.958.725-7

Mg Marcelo Raby Cifuentes
Profesor Evaluador



MCs Hipólito Chávez Caro
Profesor Tutor

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1.- INTRODUCCIÓN	1
2.- OBJETIVOS	6
3.- MATERIALES Y MÉTODO	7
4.- RESULTADOS	9
5.- DISCUSIÓN	11
6.- CONCLUSIONES	17
7.- REFERENCIAS	18
8.- ANEXO	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efectos fisiológicos del Se ¡Error! Marcador no definido.4

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Base de datos, motores de búsqueda y revistas utilizadas para la selección de 31 artículos entre los años 2000-2013 que están presentes en la discusión de esta memoria..... 9

Tabla 2. Autores, año de publicación y tributación a objetivo (s) específico (s) seleccionados sobre concentración sanguínea de Se en caballos y su relación con aspectos metabólicos carenciales, toxicológicos y de rendimiento deportivo utilizados.. 9

RESUMEN

El selenio (Se) es un oligoelemento de reconocida importancia en el crecimiento, la inmunidad, la reproducción y el metabolismo muscular del ejercicio. Asimismo, el Se genera beneficios para la salud al formar parte importante del glutatión peroxidasa (GSH-Px), una enzima encargada de proteger el organismo contra el estrés oxidativo. Existe escasa información disponible acerca de la concentración sanguínea de selenio en caballos en Chile y su relación con el estrés oxidativo especialmente en el caballo atleta. El objetivo de la presente revisión bibliográfica fue relacionar aspectos metabólicos carenciales, toxicológicos y de rendimiento deportivo con la concentración sanguínea de selenio en caballos de acuerdo con la literatura disponible.

Se realizaron búsquedas en múltiples bases de datos para resumir la evidencia disponible sobre el papel del selenio en diversas actividades fisiológicas y patológicas. Los datos para esta revisión se identificaron mediante búsquedas en PubMed, Science Direct, Google Scholar, Equine Veterinary Journal y Equine Veterinary Education. Las palabras clave utilizadas como términos de búsqueda fueron "selenio", "caballo", "deficiencia de selenio", "selenosis", "glutatión peroxidasa", "deporte" y "minerales". Las publicaciones que incluían estos términos fueron utilizadas estudiadas y algunas seleccionadas para esta revisión.

En base a la información buscada se obtuvo como resultado que la actividad de la enzima GSH-Px funciona como biomarcador de la concentración sanguínea de Se. La deficiencia de Se es más frecuente en potrillos jóvenes, los cuales pueden cursar miopatías, aumento de enzimas musculares y disminución de la actividad de GSH-Px, que afecta de forma grave principalmente al músculo esquelético y cardíaco. La alimentación del caballo, así como el ejercicio y la concentración de Se en suelo, como también la edad, son las condiciones externas e internas, respectivamente, de mayor relevancia que determinan la concentración del Se sanguíneo en el caballo.

Palabras clave: Selenio, caballos de deportes, caballos, rendimiento deportivo, selenio sanguíneo.

ABSTRACT

Selenium (Se) is a trace element of recognized importance in growth, immunity, reproduction and muscle metabolism for exercise. Likewise, Se generates health benefits by forming an important part of glutathione peroxidase (GSH-Px), an enzyme responsible for protecting the body against oxidative stress. There is little information available about the blood selenium concentration in horses in Chile and its relationship with oxidative stress, especially in the athlete horse.

The objective of this bibliographical review was to relate deficient metabolic, toxicological and sports performance aspects with the blood selenium concentration in horses according to the available literature.

Multiple databases were searched to summarize the available evidence on the role of selenium in various physiological and pathological activities. Data for this review were identified by searching PubMed, Science Direct, Google Scholar, Equine Veterinary Journal, and Equine Veterinary Education. The keywords used as search terms were "selenium", "horse", "selenium deficiency", "selenosis", "glutathione peroxidase", "sport", "minerals". Publications that included these terms were studied and some selected for this review.

Based on the information sought, it was obtained that the activity of the GSH-Px enzyme functions as a biomarker of blood Se concentration. Se deficiency is more common in young foals, which can cause myopathies, increased muscle enzymes and decreased GSH-Px activity, which seriously affects mainly skeletal and cardiac muscle. The horse's diet, as well as exercise and the concentration of Se in the soil, as well as age, are the most relevant external and internal conditions, respectively, that determine the concentration of blood Se in the horse.

Keywords: Selenium, sport horses, horses, performance, blood selenium.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Selenio

El selenio (Se) es un oligoelemento esencial en el organismo, presente en forma ubicua en la naturaleza que juega un papel esencial a través de las selenoproteínas en múltiples funciones biológicas cruciales en humanos y animales (**Figura 1**, anexo) (Avery y Hoffmann, 2018; Cai et al., 2019; Carmona-Fonseca, 2010).

1.2. Selenio en la naturaleza

El Se inorgánico está presente en la naturaleza en cuatro estados de oxidación: selenio elemental (Se^0), selenida (Se^{2-}), selenita (SeO_3^{2-}) y selenato (SeO_4^{2-}) (Pilarczyk et al., 2014). Estas formas son convertidas por todos los sistemas biológicos en formas orgánicas biodisponibles, principalmente como los dos seleno-aminoácidos: selenocisteína y selenometionina (Mangiapane et al., 2014).

1.2.1 Se en suelo

La concentración de Se en la corteza terrestre depende del origen y acidez del suelo (Muirhead et al., 2010). Así, los suelos de origen volcánico y pH ácido contienen un mínimo de Se (Pitel et al., 2020). En los suelos, el Se puede encontrarse en distintos estados redox, siendo SeO_3^{2-} y SeO_4^{2-} las especies químicas predominantes en suelos cultivados, y absorbidas por las plantas (Avery y Hoffmann, 2018). Estas formas aniónicas son altamente solubles, móviles, biodisponibles y, también, potencialmente tóxicas (Graham, 2001). Las formas orgánicas provienen principalmente de la descomposición de plantas que acumulan Se (Mehdi et al., 2013). La concentración de Se en el suelo es variable, siendo para suelos arcillosos de 0,8 a 2 mg/kg, mientras que para suelos tropicales de 2 a 4,5 mg/kg. (Grijalva et al., 2016) Por otra parte, los suelos volcánicos y el granito son pobres en Se (Mehdi et al., 2013). Los suelos con $<0,6$ ppm se consideran pobres en Se (Pitel et al., 2020). Existen áreas con suelos deficientes de Se, como el sur de Chile (Wittwer et al., 2002), región altoandina de Ecuador (Grijalva et al., 2016) y noroeste de Polonia (Pilarczyk et al., 2014).

1.2.2 Se en vegetales/

El contenido de Se en los vegetales varía de 0,1 a 0,5 ppm (Carmona-Fonseca, 2010). Existen plantas acumuladoras de Se, seleníferas y, otras, con un contenido medio del mineral (Wittwer et al., 2002). Las seleníferas se caracterizan por contener un alto contenido de Se (hasta 20.000 ppm), entre ellas las del género *Astragalus* (*A. bisulcatus*, *A. racemosus*, *A. pectinatus*, *A. thephorosides*, *A. praelongus*) (Mehdi et al., 2013). Existen plantas que tienen un contenido medio de Se que pueden resultar tóxicas cuando los animales las consumen, como las especies de los géneros *Aster*, *Gutierrezia* y *Atriplex*, que contienen 72, 60 y 50 ppm de Se respectivamente, destacando en general, las gramíneas, que suelen contener concentraciones más altas de Se que las leguminosas (Mehdi et al., 2013).

1.3 Se en animales

En los animales, la Selenoproteína-P (SeIP) es la glicoproteína extracelular más abundante que se encuentra en el plasma y constituye más del 50% de las reservas de Se plasmático (Mehdi et al., 2013). En el caballo, se han determinado concentraciones adecuadas de Se en sangre del orden de 160-275 ng/ml en la mayoría de la población estudiada (Pitel et al., 2020). Sin embargo, estudios en otras poblaciones han concluido que la deficiencia de Se sanguíneo está muy extendida (Muirhead et al., 2010).

1.4 Metabolismo

El Se es incorporado al organismo animal en al menos cuatro formas inorgánicas: (Se^0), selenida (Se^{2-}), selenito (SeO_3^{2-}) y selenato (SeO_4^{2-}), las que se convierten posteriormente en formas orgánicas de Se, hasta dos selenoaminoácidos: selenocisteína (SeCys) y selenometionina (SeMet) (Pilarczyk et al., 2014). Los sistemas biológicos animales pueden integrar estos aminoácidos a proteínas que contendrán Se, mediante el reemplazo de metionina por SeMet (Hossain et al; 2021). Mientras que la forma SeCys suele estar presente en el sitio activo de algunas proteínas con función enzimática, esenciales para la actividad metabólica catalítica (Mangiapane et al., 2014; Hossain et al; 2021).

La mayor parte del Se es absorbido en duodeno y ciego, principalmente mediante

transporte activo (Delesalle et al., 2017). Las formas orgánicas SeMet y SeCys siguen los mecanismos de captación de aminoácidos, siendo SeMet ingerida y absorbida en el intestino delgado mediante un sistema de transporte de aminoácidos neutros (Mehdi et al., 2013). La SeMet se almacena en órganos y tejidos en diferentes concentraciones, alcanzando aproximadamente un 30% en hígado, 30% en músculo, 15% en riñones, 10% en plasma y 15% en otros órganos (Raisbeck, 2000). El organismo mantiene la homeostasis del Se principalmente mediante las reservas de selenometionina en riñones e hígado, las que se utilizan en situaciones donde la ingesta alimentaria del Se es demasiado baja para la síntesis de selenoproteínas (Mehdi et al., 2013).

1.5 Glutación peroxidasa

La glutación peroxidasa (GPx) desempeña un papel fundamental en el metabolismo del Se, participando en una serie de reacciones de reducción en donde el selenito (SeO_3^{2-}) se reduce en seleniuro de hidrógeno (H_2Se), representando un aporte de Se activo para la síntesis de selenoproteínas (Mehdi et al., 2013). La principal función de la GPx es neutralizar el H_2O_2 y los hidroperóxidos orgánicos en los compartimentos intracelular y extracelular, lo cual hace sinergia con la vitamina E, asegurando la integridad continua de las membranas celulares (López, 2018). Su actividad enzimática es directamente proporcional a la ingesta de Se, con un fuerte vínculo entre la deficiencia de Se y el estrés oxidativo (Mehdi et al., 2013).

La actividad de la GPx en sangre entera está bien correlacionada con los niveles de Se en el ganado, por lo que se puede utilizar de manera eficaz para evaluar el suministro de Se a los animales de granja, representando del 10 al 30% del Se que se encuentra en el plasma (Diyabalanage et al., 2020).

1.6 Funciones biológicas

El Se es un oligoelemento esencialmente importante para muchos procesos fisiológicos en animales, como las funciones de los sistemas inmune y reproductivo, el metabolismo de las hormonas tiroideas, así como la defensa antioxidante, funciones que ejerce a través de las selenoproteínas (Avery y Hoffmann, 2018).

La deficiencia de Se generalmente se manifiesta en una mayor incidencia de retención

de placenta, metritis, mastitis, abortos, disminución de la fertilidad y elevada susceptibilidad a las infecciones, siendo particularmente en potrillos, asociado con la incidencia de enfermedad del músculo blanco y enfermedad de la grasa amarilla (Hosnedlova et al., 2017). Asimismo, también participa en procesos como la fagocitosis y otros aspectos biológicos como la reproducción animal, la fertilidad, la implantación embrionaria, la retención placentaria, la síntesis de testosterona y producción y movilidad de los espermatozoides (Mehdi et al., 2013).

1.3 Deficiencias de Se

1.3.1. Deficiencias asociadas a rendimiento deportivo

Hoy en día los caballos que se dedican a deportes de alto rendimiento tienen requerimientos y estilos de vida bastante similares a los de cualquier atleta, por lo que, están predispuestos a las enfermedades que son frecuentes en el mundo del deporte (Montero, 2016). Estructuras como el diafragma, músculos intercostales, glúteos, lengua, músculos masticatorios y miocardio, son músculos de alta actividad de movimiento fisiológico, por lo que suelen ser los más afectados al momento de realizar ejercicios musculares, ya que es en estas situaciones en las que existe un aumento en la producción de radicales libres (Delesalle et al., 2017).

Se ha estudiado que factores como aspectos nutricionales, ambientales, psicológicos y otros, también influyen de manera importante en la presentación del síndrome de sobreentrenamiento en caballos (Montero, 2016).

1.3.2. Enfermedad del músculo blanco

Esta miopatía tiene afinidad tanto por músculo esquelético como por el cardíaco, siendo su principal causa la deficiencia de Se y, en menor medida, la deficiencia de Vit E, descrita en varias especies animales, incluyendo al caballo, en el que principalmente son los potros los afectados hasta la edad del destete, aunque ocasionalmente también se han descrito casos en adultos (Delesalle et al., 2017).

1.4 Selenosis

Normalmente, el Se se concentra en los suelos de las regiones más secas del mundo,

en donde coincidentemente se producen los efectos tóxicos en animales, existiendo mayor riesgo de intoxicación (selenosis) cuando la concentración de Se aumenta más allá de las 5 ppm (Mehdi et al., 2013). La selenosis afecta principalmente a los sistemas cardiovascular, gastrointestinal y, posiblemente, hematopoyético (Raisbeck, 2000).

El caballo aumenta mucho sus posibilidades de contraer una selenosis crónica si se alimenta de forrajes seleníferos durante un largo período de tiempo (Davis et al., 2014), donde los signos principales son la caída de pelo y casco (Montero, 2016). No obstante, se han reportado además otros signos menos específicos referidos al sistema inmunológico y la reproducción (Raisbeck, 2000).

Debido a esto es que surge la pregunta sobre ¿Qué relación existe entre la concentración sanguínea de selenio en caballos y sus aspectos metabólicos, toxicológicos y de rendimiento deportivo?

2. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Relacionar aspectos metabólicos carenciales, toxicológicos y de rendimiento deportivo con la concentración sanguínea de selenio en caballos de acuerdo con la literatura disponible.

3.2. Objetivos específicos

3.2.1. Relacionar la concentración de selenio sanguíneo con la actividad de la enzima glutatión peroxidasa.

3.2.2. Identificar los efectos de la deficiencia de selenio sanguíneo en caballos.

3.2.3. Identificar agentes condicionantes externos en el nivel de selenio sanguíneo de los caballos.

3. MATERIALES Y MÉTODO

La presente es una revisión bibliográfica de carácter narrativo sobre la concentración sanguínea de selenio (Se) en caballos y su relación con aspectos metabólicos carenciales, toxicológicos y de rendimiento deportivo de la literatura disponible en bases de datos científicas. Las bases de datos, términos y criterios de búsqueda se especifican a continuación.

1.1 Bases de datos, motores de búsqueda y revistas científicas

- Web of Science
- Medline
- PubMed
- Google Scholar
- ProQuest
- Equine Veterinary Journal
- Equine Veterinary Education

1.2 Términos de búsqueda (MeSH)

- Selenio/ Selenium
- Caballo / Horses
- Deficiencia de selenio / Selenium deficiency
- Toxicidad / Toxicity
- Músculo / Muscle
- Deporte / Sport
- Minerales / Minerals
- Sangre / Blood
- Glutación peroxidasa / Glutathione peroxidase

1.3 Criterios de inclusión

- Publicaciones que aborden el tema de concentraciones de Se en caballos en plasma

y tejidos blandos, y su relación con aspectos metabólicos carenciales, toxicológicos y de rendimiento deportivo.

- Fuentes publicadas en español e inglés.
- Textos de publicaciones completas y abstract.

1.4 Criterios de exclusión

- Fuentes que aborden el tema de concentración de Se en otros équidos.
- Literatura que aborde la concentración de minerales en plasma o tejidos blandos en caballos, pero que no incluyan Se.

1.5 Valorización de referencias

En particular, todas las referencias utilizadas que cumplan con los criterios de inclusión tendrán el mismo valor científico para efectos de este estudio.

1.6 Intervalo de tiempo de búsqueda

Documentos publicados desde el año 2000 a Mayo de 2023.

1.7 Periodo de búsqueda

Marzo 2022 - Mayo 2023.

4. RESULTADOS

La selección de artículos se hace mediante uso de términos de búsqueda en las distintas bases de datos, motores de búsqueda y revistas científicas, indicadas en la metodología, en un total de 3706 artículos (**Tabla 1**), de los cuales 31 cumplen con los criterios de inclusión para la discusión de la presente revisión bibliográfica (**Tabla 2**).

Tabla 1. Base de datos, motores de búsqueda y revistas utilizadas para la selección de 31 artículos entre los años 2000-2023 que están presentes en la discusión de esta memoria.

Motor de búsqueda	N° de trabajos encontrados	N° de trabajos disponibles*	N° de trabajos utilizados**
Science Direct	362	61	5
ProQuest	71	2	0
Equine Veterinary Education	71	3	0
Equine Veterinary Journal	319	292	8
Google Scholar	2820	2820	6
Pubmed	63	17	12
Resultado total	3706	3195	31

*Corresponden a los trabajos con disponibilidad de texto completo

** Corresponden a los trabajos que cumplían los criterios de inclusión y se utilizaron en esta memoria.

Tabla 2. Autores, año de publicación y tributación a objetivo (s) específico (s) seleccionados sobre concentración sanguínea de Se en caballos y su relación con aspectos metabólicos carenciales, toxicológicos y de rendimiento deportivo utilizados.

Autor	Año	Tributación a objetivo
Araya et al.	2004	1
Brummer et al.	2009	1
Busse y Uberti	2020	2
Calamari et al.	2007	1

Culhuac et al.	2023	3
Delesalle et al.	2017	3
Desta et al.	2011	3
Gomez et al.	2015	2
Górecka et al.	2002	3
Haggett et al.	2010	1
Ishii et al.	2002	2
Katz et al.	2009	2
López	2018	3
Ludvíková et al.	2005	1
MacQuarrie	2016	2
Millán	2012	2
Montgomery et al.	2011	1
Montgomery et al.	2012	2
Muirhead et al.	2010	2 y 3
Owen et al.	2022	2 y 3
Rioseco et al.	2013	1 y 3
Sakr et al.	2007	2
Schild et al.	2016	2
Streeter et al.	2012	2 y 3
Tadich et al.	2013	3
Tapia	2013	3
White et al.	2014	1 y 3
White y Broadley	2009	3
White y Warren	2014	3
White y Warren	2017	3
Wittwer et al.	2002	1 y 3

5. DISCUSIÓN

Los objetivos del estudio son realizar una revisión bibliográfica sobre la concentración sanguínea de selenio (Se) y su relación con aspectos metabólicos carenciales, toxicológicos y de rendimiento deportivo, independiente de la raza del caballo, que no incluya otros équidos.

Se / GPx

El Se es un mineral traza que resulta esencial para la función celular al formar parte de una variedad de selenoproteínas con acción en el sistema inmune, catalizador como antioxidante y en el mantenimiento del estado redox celular, entre otras, cuya deficiencia se asocia a estrés oxidativo y miopatías diversas (Owen et al., 2022). Las proteínas que contienen Se en forma de selenocisteína incluye las cuatro glutatión peroxidasas (GSH-Px) (Culhuac et al., 2023). En consecuencia, se ha demostrado que el nivel del Se sanguíneo tiene una alta correlación con la actividad de la GSH-Px, tanto en estados deficientes como en aquellos adecuados (Calamari et al., 2007; Haggett et al., 2010; Montgomery et al., 2011; Rioseco et al., 2013).

En los caballos, las concentraciones de Se en sangre entera de < 0,63, 0,64-1,05, 1,06 – 1,39 y > 1,4 $\mu\text{m/L}$, se definen como deficientes, bajas, marginales y adecuadas, respectivamente (López, 2018). En tanto la actividad adecuada de la GSH-Px en sangre entera se ha estimado en > 120 - 170 U/gHb (Calamari et al., 2007).

Estrés oxidativo

De acuerdo con diversos autores, se entiende por estrés oxidativo a una serie de fenómenos metabólicos que regulan la producción y control de moléculas oxidantes (Montgomery et al., 2011; Owen et al., 2022; White y Warren, 2017). Así, las moléculas oxidantes son moléculas que pueden aceptar electrones de las moléculas con las que reaccionan, denominándose especies oxígeno reactivas (ROS) (Culhuac et al., 2023). De esta manera, cuando el organismo experimenta condiciones metabólicas estresantes, las ROS superan a las moléculas antioxidantes, provocando un desequilibrio conocido como estrés oxidativo (Owen et al., 2022). Las ROS se encuentran de forma natural en

cualquier organismo animal, y para su control existen moléculas antioxidantes que regulan su actividad biológica (White et al., 2014).

En el caballo, de las actividades fisiológicas de mayor impacto sobre la generación de estrés oxidativo se encuentra el ejercicio, siendo particularmente, el ejercicio competitivo anaeróbico asociado con una mayor producción de ROS, ya que el metabolismo se orienta particularmente en función de realizar actividad muscular de movimiento (White y Warren, 2017). Durante el ejercicio, las ROS se producen como un subproducto normal durante la contracción muscular, actuando como moléculas de señalización críticas, esenciales en el fenómeno de adaptación al ejercicio (Araya et al., 2004). Sin embargo, si, en determinadas circunstancias se produce un exceso de ROS y las moléculas antioxidantes no las secuestran adecuadamente, pueden dañar componentes celulares vitales como lípidos, proteínas y ADN (Owen et al., 2022).

Moléculas antioxidantes

Entre las moléculas antioxidantes, ambos, el Se y la vitamina E puede actuar como importantes neutralizadores de ROS en el organismo animal (Araya et al., 2004). En este sentido, un estudio que midió el efecto de la disminución de la ingesta de vitamina E en caballos jóvenes que hacían ejercicio, determinó que la capacidad mitocondrial del músculo esquelético se vio afectada negativamente por la reducción de la vitamina E en la dieta, fenómeno que se invirtió al administrar una dieta elevada en Se (Owen et al., 2022). Asimismo, se ha reportado que desde un punto de vista nutricional, las formas orgánicas de Se son superiores al selenito ya que la actividad de GSH-Px se mantiene aún durante los períodos de insuficiencia de Se (Calamari et al., 2007).

Condicionantes: nutrición, suelo, ejercicio y genética

En el caballo, la concentración sanguínea de Se estaría correlacionada con diferentes variables, siendo una de ellas el suelo de donde proviene el forraje de consumo, en el cual, en general, el Se está presente en bajas concentraciones, a veces incluso en valores inferiores a 0,2 mg/kg, una tendencia que se observa en muchos países (Delesalle et al., 2017). Esta condición estaría presente, especialmente en aquellos suelos de pH alcalino y de origen volcánico, como es el caso en Chile de Valdivia al sur

(Tapia, 2013). Así, las plantas forrajeras provenientes de estos suelos probablemente promuevan un cuadro clínico o subclínico de insuficiencia, al variar significativamente la concentración de Se en sangre (White y Broadley, 2009). En esas condiciones, algunos suelos son lo suficientemente deficientes en Se como para predisponer a los potrillos recién nacidos a presentar actividad de GSH-Px subnormal (Araya et al., 2004). En esta línea, un estudio donde las yeguas madres se alimentaron con una dieta principalmente de forraje cosechado de suelos deficientes en Se, mostró potrillos recién nacidos con enfermedad degenerativa muscular, cuando la actividad de GSH-Px sérica fue de entre 11-43 U/gHb, para valores referenciales de >120 U/gHb (Delesalle et al., 2017).

En el mismo sentido, un estudio sobre el estado del Se en caballos habitantes de suelos insulares con baja concentración del mineral, concluyó que la deficiencia de este oligoelemento es importante en poblaciones de caballos adultos jóvenes y viejos, los cuales presentaron una mayor prevalencia (79%) de concentraciones inadecuadas de Se sanguíneo, marginales (0,0053 a 0,1200 ppm) o, en algunos casos, deficientes (< 0,0053 ppm) (Muirhead et al., 2010).

Contrariamente, conocer de las altas concentraciones de Se en suelo y las plantas forrajeras cultivadas en estos suelos u otras plantas que acumulan Se, resulta vital a la hora diagnosticar una toxicosis por Se o, por la suplementación excesiva, para un caballo que no lo necesita, generando el mismo cuadro (Desta et al., 2011).

Por otra parte, es reconocido el efecto que tiene el ejercicio respecto de la valoración plasmática del Se y la actividad GSH-Px sanguínea, y su relación con el estrés oxidativo (Millán, 2012). Un trabajo de White y Warren (2014) reportó que los caballos sometidos a entrenamiento y suplementados con Se, parecen reducir el daño oxidativo asociado al ejercicio prolongado, no obstante, podría no tener el mismo efecto sobre la función mitocondrial, donde, a juicio de estos autores, no se verían cambios significativos en la eficiencia y número mitocondrial. Particularmente, un estudio sobre variables hematológicas durante el ejercicio competitivo de caballos de rodeo chileno demostró que la actividad de GSH-Px disminuyó solo ligeramente luego del ejercicio justificada por la suplementación de Se que recibían (Tadich et al., 2013).

Asimismo, se ha postulado un mecanismo por el cual el Se influiría en la respuesta inmune inflamatoria, no obstante, este fenómeno permanece pobremente entendido

(Sakr et al., 2007; Millán, 2012). Un estudio en potrillos sobre los cambios en la actividad de GSH-Px y concentración de Se sanguíneo como consecuencia de la gonadectomía, en la respuesta inmune inflamatoria, demostró que el nivel de Se sanguíneo se eleva significativamente ($p < 0.001$) al séptimo día post quirúrgico, en tanto la actividad GSH-Px, no sufre modificaciones (Brummer et al., 2009).

Por otra parte, existen antecedentes que indican que la concentración sanguínea de Se podría tener una condición congénita, que explicaría una enfermedad degenerativa muscular en potrillos (Montgomery et al., 2012). Un reporte de MacQuarrie (2016) sobre miodegeneración nutricional congénita en un potro recién nacido, comunicó una concentración sanguínea tan baja de Se como 50 ng/mL, concomitante con elevados niveles de actividad de enzimas musculares, sugerentes de lesión muscular aguda.

Signos deficiencia

Se conoce que la deficiencia en Se tendría un impacto negativo en la salud mitocondrial muscular, entre otros efectos (Owen et al., 2022). Uno de los principales signos de deficiencia de Se sanguíneo en potrillos recién nacidos y, también, en destetados mayores, es la enfermedad del músculo blanco o enfermedad muscular degenerativa (EMD) (Busse y Uberti, 2020). La enfermedad del músculo blanco (EMB) es una condición en que los animales afectados tienen un crecimiento imprevisto debido a una deficiencia de selenio y vitamina E, con signos de debilidad muscular, distrés respiratorio, decúbito y dificultad para levantarse (Schild et al., 2016). La EMD ha sido reportada en potrillos en una región de Japón, donde los caballos presentaron signos de debilidad muscular generalizada, incapacidad para levantarse, deficientes niveles de vitamina E y Se, asociado a una baja concentración de Se en los pastizales de este territorio inferior a 0,1 ppm (Ishii et al., 2002).

Asimismo, las deficiencias de Se han sido asociadas a otras miopatías nutricionales / metabólicas (Montgomery et al., 2012). Así, un cuadro de rabdomiólisis severa en una yegua preñada es asociada a una miopatía estacional del pasto, que cursa con deficiencia de Se y acil-CoA deshidrogenasa y signos de obnubilación, trismo, protrusión de la lengua, fasciculaciones musculares y dolor generalizado, asociados al consumo de hipoglicina A, presente en las semillas del árbol de saúco (*Acer negundo*) (Gomez et al.,

2015).

Además, se ha reportado que la EMD es prevalente en potros <30 días de nacidos, que poseen una baja concentración de Se en sangre, pero, asimismo, comunicado que la deficiencia de este mineral es algo recurrente también en caballos adultos hospitalizados (Streeter et al., 2012).

Suplementación

Respecto a la suplementación de Se conocidos los signos de su deficiencia de en el caballo, especialmente en ejercicio competitivos y en la crianza, se han implementado diversos protocolos de refuerzo con formas de Se orgánico e inorgánico (Richardson et al., 2006).

Un estudio de suplementación de Selenito de sodio (Na_2SeO_3) administrado vía endovenosa en caballos pura raza chilena, demostró que, si bien la suplementación en dosis única aumenta la actividad de la GSH-Px, tal efecto se limita hasta 60 días luego de su administración (López, 2018).

En el mismo sentido, otros estudios de suplementación de Na_2SeO_3 administrado vía intramuscular a caballos Criollo-Chileno, concluyó que la suplementación no aumentó el nivel de actividad de GSH-Px lo suficiente como para alcanzar valores adecuados, según valores referenciales >130 U/gHb (Górecka et al., 2002; Ludvíková et al., 2005; Rioseco et al., 2013).

GSH-Px como biomarcador

Como ha quedado de manifiesto, diversos estudios concuerdan en que la actividad enzimática de GSH-Px está directamente relacionada con la concentración sanguínea de Se, por lo que la valoración enzimática sería de utilidad en el diagnóstico y seguimiento de condiciones diversas como biomarcador molecular (Sakr et al., 2007).

Un reporte de una yegua en trabajo de parto que sufría inercia uterina, en ausencia de otras causas de distocia, demostró que la actividad enzimática de GSH-Px presentaba una marcada disminución (22 U/gHb), confirmándose una deficiencia severa de Se, tanto en la paciente, como en su rebaño de origen, dando a luz un potrillo con EMB severa, presentando un valor de actividad GSH-Px de 68 U/gHb, recuperándose

satisfactoriamente tras suplementación adecuada (Busse y Uberti, 2020).

Asimismo, otro estudio que ejemplifica el concepto de biomarcador de la GSH-Px está reportado en el caso de un potrillo de 4 días diagnosticado con EMD, con marcados signos de debilidad muscular, elevada actividad de enzimas musculares y de baja concentración de vitamina E, Se y de actividad GSH-Px (10,1 U/mL, referencia de 30-150 UmL) que, suplementado con una combinación de Vitamina E-Se vía intramuscular recuperó en pocos días de hospitalización (Katz et al., 2009).

6. CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos y resultados de la revisión bibliográfica, se concluye que:

1. La actividad de la enzima GSH-Px funciona como biomarcador en cuanto a la concentración sanguínea de Se en el caballo. Ejemplares suplementados con este mineral presentan un aumento significativo en la actividad de la enzima GSH-Px, al igual que, caballos sometidos a entrenamiento y suplementados a la vez.
2. La deficiencia de Se es más frecuente en potrillos jóvenes, los cuales pueden cursar miopatías, aumento de enzimas musculares y disminución de la actividad de GSH-Px, que afecta de forma grave principalmente al músculo esquelético y cardíaco.
3. La alimentación del caballo, así como el ejercicio y la concentración de Se en suelo, como también la edad, son las condiciones externas e internas, respectivamente, de mayor relevancia que determinan la concentración del Se sanguíneo. Además, en potrillos recién nacidos, la condición de salud de la madre respecto de los niveles plasmáticos de Se previo al parto, determinarían un déficit congénito de Se con graves efectos sistémicos.
4. En atención a que los estudios de concentración de Se en suelo en Chile son escasos, resultaría de interés realizar mediciones de GSH-Px en caballos no suplementados que habitan suelos insulares de la Región del Biobío como la Isla Santa María e Isla Mocha, lo que contribuiría al mejor entendimiento de la biodisponibilidad del Se y eventuales acciones suplementarias en poblaciones equinas específicas.

7. REFERENCIAS

- Avery, J. y Hoffmann, P. (2018). Selenium, Selenoproteins, and Immunity. *Nutrients*, 10(9), 1203. <https://doi.org/10.3390/nu10091203>
- Araya, O., Urzua, R. y Bustamante, H. (2004). Efecto del selenato de bario inyectable sobre la actividad de Glutation peroxidasa en caballos a pastoreo. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 36(1), 31-37. <http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2004000100003>
- Brummer, M., Ringler, J., Parks, A., Hayes, S., Adams, A., Horohov, D. y Lawrence, L. (2009). Selenium Status and Equine Immune Function. *Journal of Equine Veterinary Science*, 29 (5), 362-363. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2009.04.067>.
- Busse, N. y Uberti, B. (2020). Uterine Inertia due to Severe Selenium Deficiency in a Parturient Mare. *Journal Equine Veterinary Science*, 85, 102845. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2019.102845>.
- Cai, Z., Zhang, J. y Li, H. (2019). Selenium, aging, and aging-related diseases. *Aging Clinical Experimental Research*, 31(8),1035-1047. <https://doi.org/10.1007/s40520-018-1086-7>
- Calamari, L., Cappelli, F., Ferrari, A. y Bertin, G. (2007). Glutathione peroxidase responses in mature horses following the withdrawal of an organic selenium supplement. *Italian Journal of Animal Science*, 6, 275-277. <https://doi.org/10.4081/ijas.2007.1s.275>
- Carmona-Fonseca, J. (2010). Selenio en suero y plasma: epidemiología y valores de referencia. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 28(5), 388–98. <https://doi.org/10.1590/S1020-49892010001100009>
- Culhuac, E., Elghandour, M., Adegbeye, M., Barbabosa-Pliego, A. y Salem, A. (2023). Influence of Dietary Selenium on the Oxidative Stress in Horses. *Biological Trace Element Research*, 201(4), 1695–1703. <https://doi.org/10.1007/s12011-022-03270-y>
- Davis, T., Stegelmeier, B. y Hall, J. (2014). Analysis in horse hair as a means of evaluating selenium toxicoses and long-term exposures. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(30), 7393–7397. <https://doi.org/10.1021/jf500861p>

- Delesalle, C., de Bruijn, M., Wilmink, S., Vandendriessche, H., Mol, G., Boshuizen, B., Plancke, L. y Grinwis, G. (2017). White muscle disease in foals: focus on selenium soil content. A case series. *BMC Veterinary Research*, 13(1), 121. <https://doi.org/10.1186/s162917-017-1040-5>
- Desta, B., Maldonado, G., Reid, H., Puschner, B., Maxwell, J., Agasan, A., Humphreys, L. y Holt, T. (2011). Acute selenium toxicosis in polo ponies. *Journal of Veterinary Diagnostic investigation*, 23(3), 623–628. <https://doi.org/10.1177/1040638711404142>
- Diyabalanage, S., Dangolla, A. y Mallawa, C. (2020). Biodisponibilidad de selenio (Se) en la población de ganado en Sri Lanka basada en la determinación cualitativa de las actividades de la glutatión peroxidasa (GSH-Px). *Environmental Geochemistry and Health*, 42, 617–624. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00395-3>
- Gomez, D., Valberg, S., Magdesian, K., Hanna, P. y Lofstedt, J. (2015). Acquired multiple acyl-CoA dehydrogenase deficiency and marked selenium deficiency causing severe rhabdomyolysis in a horse. *The Canadian Veterinary Journal*, 56(11), 1166–1171.
- Graham, W. (2001). Trace Element Deficiencies in Cattle. *Veterinary Clinics Of North America: Food Animal Practice*, 7(1), 153-215. [https://doi.org/10.1016/s0749-0720\(15\)30816-1](https://doi.org/10.1016/s0749-0720(15)30816-1)
- Grijalva, J., Aguinda, H., Quisirumbay, J. y Salazar, R. (2016). Concentración de selenio sanguíneo y relación con el perfil mineral de suelos y praderas bajo pastoreo de ovejas en la región altoandina del Ecuador: Implicaciones en la nutrición humana. *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas (Quito)*, 41, 1. https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/CIENCIAS_MEDICAS/article/view/1182
- Górecka, R., Sitarska, E. y Kluciński, W. (2002). Antioxidant parameters of horses according to age, sex, breed and environment. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 5(4), 209–216.
- Haggett, E., Magdesian, K., Maas, J., Puschner, B., Higgins, J. y Fiack, C. (2010). Whole blood selenium concentrations in endurance horses. *Veterinary Journal*, 186(2), 192-196. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2009.07.017>

- Hosnedlova, B., Kepinska, M., Skalickova, S., Fernandez, C., Ruttkay-Nedecky, B., Malevu, T., Sochor, J., Baron, M., Melčová, M., Zídková, J. y Kizek, R. (2017). A Summary of New Findings on the Biological Effects of Selenium in Selected Animal Species—A Critical Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(10), 2209. <https://doi.org/10.3390/ijms18102209>
- Hossain, A., Skalicky, M., Brestic, M., Maitra, S., Sarkar, S., Ahmad, Z., Vemuri, H., Garai, S., Mondal, M., Bhatt, R., Kumar, P., Banerjee, P., Saha, S., Islam, T. y Laing, A. (2021). Selenium Biofortification: Roles, Mechanisms, Responses and Prospects. *Molecules*, 26 (4), 881. <https://doi.org/10.3390/molecules26040881>
- Ishii, M., Ogata, H., Shimizu, H., Takeuchi, Y., Nozawa, T., Yamamoto, Y., Okamoto, T., Shimamura, T., Utsumi, A., Jitsukawa, T., Endo, M., Fukuda, T. y Yamanoi, T. (2002). Effects of vitamin E and selenium administration on pregnant, heavy draft mares on placental retention time and reproductive performance and on white muscle disease in their foals. *Journal of Equine Veterinary Science*, 22(5), 213-220. [https://doi.org/10.1016/s0737-0806\(02\)70036-1](https://doi.org/10.1016/s0737-0806(02)70036-1)
- Katz, L., O'Dwyer, S. y Pollock, P. (2009). Nutritional muscular dystrophy in a four-day-old Connemara foal. *Irish Veterinary Journal*, 62(2), 119–124. <https://doi.org/10.1186/2046-0481-62-2-119>
- López, C. (2018). *Efecto de la suplementación endovenosa de selenito de sodio sobre glutatión peroxidasa intraeritrocítica en equinos pura raza chilena*. [Memoria de título de medicina veterinaria]. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Ludvíková, E., Pavlata, L., Vyskočil, M. y Jahn, P. (2005). Selenio Status of Horses in the Czech Republic. *Acta Veterinaria Brno*, 74, 369-375. <https://doi.org/10.2754/avb200574030369>
- MacQuarrie J. (2016). Congenital nutritional myodegeneration in a neonatal foal. *The Canadian Veterinary Journal*, 57(7), 781–784.
- Mangiapane, E., Pessione, A. y Pessione, E. (2014). Selenium and selenoproteins: an overview on different biological systems. *Current Protein & Peptide Science*, 15(6), 598- 607. <https://doi.org/10.2174/1389203715666140608151134>
- Mehdi, Y., Hornick, J., Istasse, L. y Dufresne, I. (2013). Selenium in the Environment, Metabolism and Involvement in Body Functions. *Molecules*, 18 (3), 3292–3311.

<https://doi.org/10.3390/molecules18033292>

- Millán, E. (2012). Biomarcadores de estatus de selenio en paciente crítico con síndrome de respuesta inflamatoria sistémica. Seguimiento durante 7 días de estancia en la unidad de cuidados intensivos. [Tesis Doctoral]. Universidad de Granada, Granada, España.
- Montero, R. (2016). *Relación del estatus de selenio en caballos pura raza chilena con su resultado en competencia de rodeo*. [Memoria de título de Medicina Veterinaria]. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Montgomery, J., Wichtel, J., Wichtel, M., McNiven, M. y McClure, J. (2011). The efficacy of selenium treatment of forage for the correction of selenium deficiency in horses. *Animal Feed Science and Technology*, 170(1-2), 63-71. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.07.018>
- Montgomery, J. B., Wichtel, J. J., Wichtel, M. G., McNiven, M. A., McClure, J. T., Markham, F. y Horohov, D. W. (2012). Effects of selenium source on measures of selenium status and immune function in horses. *Canadian Journal of Veterinary Research*, 76(4), 281–291.
- Muirhead, T., Wichtel, J., Stryhn, H. y McClure, J. (2010). The selenium and vitamin E status of horses in Prince Edward Island. *The Canadian Veterinary Journal.*, 51(9), 979-85.
- Owen, R., Semanchik, P., Latham, C., Brennan, K. y White-Springer, S. (2022). Elevated dietary selenium rescues mitochondrial capacity impairment induced by decreased vitamin E intake in young exercising horses. *Journal of Animal Science*, 100(8), 172. <https://doi.org/10.1093/jas/skac172>
- Pilarczyk, B., Tomza-Marciniak, A., Stankiewicz, T., Błaszczak, B., Gaczarzewicz, D., Smugała, M., Udała, J., Tylkowska, A., Kuba, J. y Cieśla A. (2014). Serum selenium concentration and glutathione peroxidase activity and selenium content in testes of Polish Konik horses from selenium--deficient area in North- Western Poland. *Polish Journal of Veterinary Science*, 17(1), 165-7. <https://doi.org/10.2478/pjvs-2014-0022>
- Pitel, M., McKenzie, E., Johns, J. y Stuart, R. (2020). Influence of specific management practices on blood selenium, vitamin E, and beta-carotene concentrations in horses

- and risk of nutritional deficiency. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 34(5), 2132–2141. <https://doi.org/10.1111/jvim.15862>
- Raisbeck, M. (2000). Selenosis. *The Veterinary clinics of North America. Food animal practice*, 16(3), 465–480. [https://doi.org/10.1016/s0749-0720\(15\)30081-5](https://doi.org/10.1016/s0749-0720(15)30081-5)
- Richardson, M., Siciliano, D., Engle, E., Larson, K. y Ward, L. (2006). Effect of selenium supplementation and source on the selenium status of horses. *Journal of Animal science*, 84(7), 1742–1748. <https://doi.org/10.2527/jas.2005-413>
- Rioseco, M., Noro, M., Chihuailaf, R. y Wittwer, F. (2013). Selenium metabolic status and response to supplementation in grazing Chilean-Criollo horses. *Revista MVZ Córdoba*, 18(3), 3822-3827. <https://hdl.handle.net/10925/1775>
- Sakr, Y., Reinhart, K., Bloos, F., Marx, G., Russwurm, S., Bauer, M. y Brunkhorst, F. (2007). Time course and relationship between plasma selenium concentrations, systemic inflammatory response, sepsis, and multiorgan failure. *British Journal of Anaesthesia*, 98(6), 775–784. <https://doi.org/10.1093/bja/aem091>
- Schild, C., Giannitti, F., Caffarena, D., Curbelo, A. y Riet-Correa, F. (2016). Enfermedad del Músculo blanco en una ternera Holstein con deficiencia de selenio en Uruguay. *XLIV Jornadas Uruguayas de Buiatría*, 198-200.
- Streeter, R., Divers, T., Mittel, L., Korn, A. y Wakshlag, J. (2012). Selenium deficiency associations with gender, breed, serum vitamin E and creatine kinase, clinical signs and diagnoses in horses of different age groups: A retrospective examination 1996-2011. *Equine Veterinary Journal*, 44, 31-35. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2012.00643.x>
- Tadich, T., Araya, O., Solar, F., Ansoleaga, N. y DPhil, C. (2013). Description of the Responses of Some Blood Constituents to Rodeo Exercise in Chilean Creole Horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, 33, 174-181. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jevs.2012.06.013>
- Tapia, J. (2013). *Balance metabólico nutricional de selenio y variaciones estacionales de glutatión peroxidasa en equinos de la zona sur de Chile entre los años 2004 a 2011*. [Memoria de título de Medicina Veterinaria]. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- White, P. y Broadley, M. (2009). Biofortification of crops with seven mineral elements often

lacking in human diets – iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New Phytologist*, 182(1), 49-84. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02738.x>

White, S. y Warren, L. (2014). Effects of dietary selenium and training on oxidative stress in young horses. *Equine Veterinary Journal*, 46, 33. <https://doi.org/10.1111/evj.12267> 100

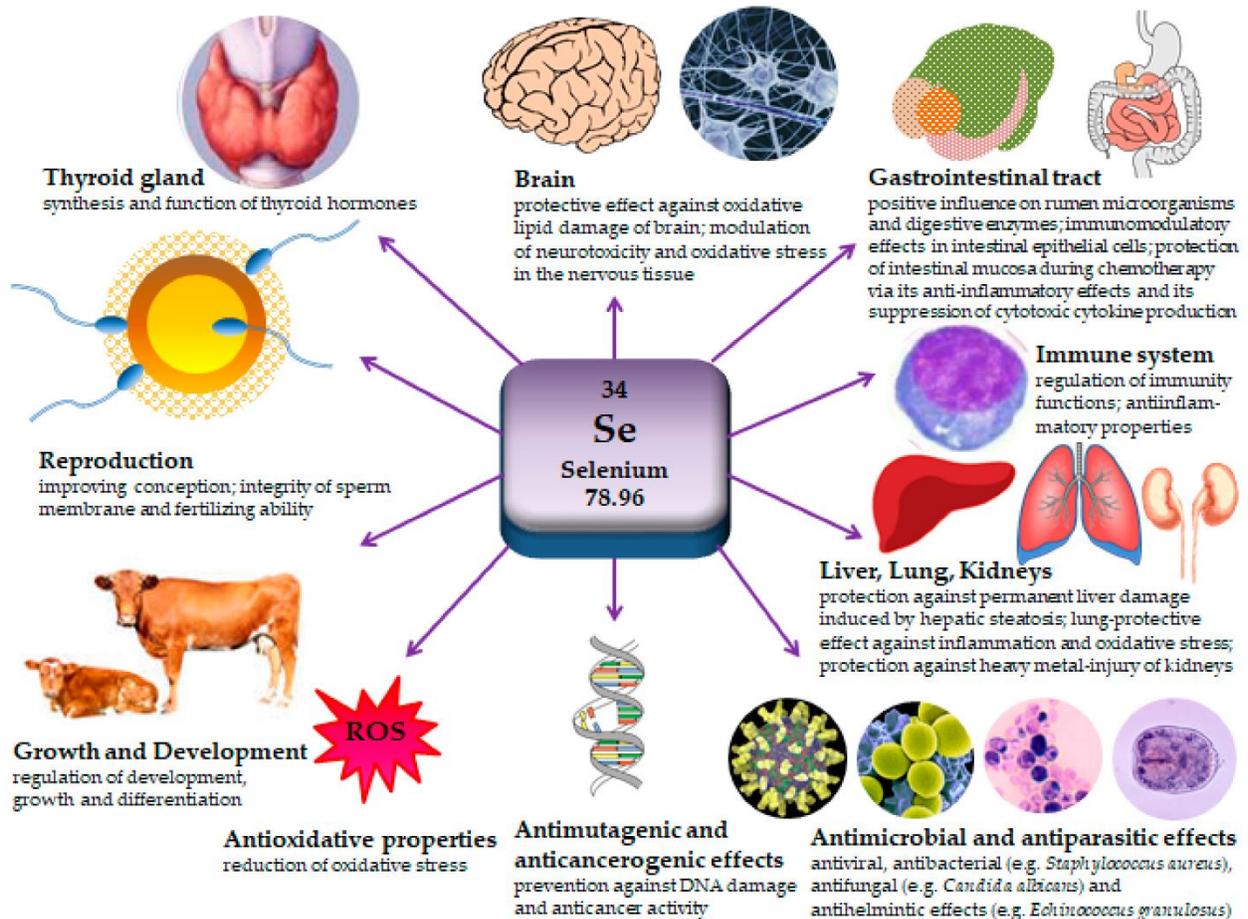
White, S., Warren, L. y Wohlgemuth, S. (2014). Effects of dietary selenium and training on mitochondrial function in young horses. *Equine Veterinary Journal*, 46, 33. <https://doi.org/10.1111/evj.12267> 101

White, S. y Warren, L. (2017). Submaximal exercise training, more than dietary selenium supplementation, improves antioxidant status and ameliorates exercise-induced oxidative damage to skeletal muscle in young equine athletes. *Journal of Animal Science*, 95(2), 657–670. <https://doi.org/10.2527/jas.2016.1130>

Wittwer, F., Araneda, P., Ceballos, A., Contreras, P., Andaur, M. y Böhmwald, H. (2002). Actividad de glutatión peroxidasa (GSP-Px) en sangre de bovinos a pastoreo de la IX Región, Chile, y su relación con la concentración de selenio en el forraje. *Archivos Medicina Veterinaria*, 34, 49-57. <http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2002000100005>.

8. ANEXO

Figura 1. Efectos fisiológicos del Se.



(Hosnedlova et al., 2017).