



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MEXICO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN ANIMAL

**DIAGNÓSTICO MINERAL Y EVALUACIÓN DE LA SUPLEMENTACIÓN CON
SELENIO ORGÁNICO EN EL PESO VIVO, HEMATOCRITO Y NIVEL DE Se EN
CABALLOS SANTA GERTRUDIS**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

PRESENTA

PMVZ. FELIPE DE JESUS ARMEAGA GUADARRAMA

ASESORES

**Dr. en C. IGNACIO DOMÍNGUEZ VARA
M. en C. JOSE PABLO MEDINA NAVARRO
Dr. en C. ERNESTO MORALES ALMARAZ**

Toluca, México, febrero de 2019

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS	II
CONTENIDO.....	IV
CUADROS	VI
1. RESUMEN.....	VII
2. INTRODUCCIÓN.....	1
3. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1 Alimentación y nutrición de los equinos.....	4
3.2 Vitaminas y minerales como nutrientes en caballos.....	5
3.3 Electrolitos.....	6
3.4 Calcio (Ca)	6
3.5 Fósforo (P)	7
3.6 Sodio (Na)	8
3.7 Potasio (K).....	8
3.8 Magnesio (Mg)	9
3.9 Manganeso (Mn)	9
3.10 Cobre (Cu).....	9
3.11 Hierro (Fe)	10
3.12 Zinc (Zn)	10
3.13 Importancia del selenio en la nutrición del caballo	11
3.14 Requerimientos de selenio en equinos.....	12
3.15 Deficiencia de selenio.....	13

3.16	Dinamismo biológico del selenio	14
3.17	Suplementación de selenio en equinos	15
3.18	Uso de selenio orgánico	16
3.19	Raza de caballos Santa Gertrudis	17
4.	JUSTIFICACION.....	20
5.	HIPÓTESIS.....	21
6.	OBJETIVOS.....	22
6.1	General.....	22
6.2	Específicos	22
7.	MATERIAL Y MÉTODOS	23
7.1	Animales y tratamiento	24
7.2	Análisis de laboratorio	26
7.3	Análisis estadístico	27
8.	LÍMITE DE ESPACIO	28
9.	LÍMITE DE TIEMPO.....	29
10.	RESULTADOS Y DISCUSION	30
10.1	Macro minerales	30
10.2	Micro minerales	35
10.3	Hematocrito y cambio de peso vivo	43
11.	CONCLUSIONES.....	45
12.	LITERATURA CITADA	46

CUADROS

Cuadro 1. Aporte nutrimental del análisis químico proximal (g kg^{-1} MS) y contenido mineral promedio (g kg^{-1} y mg kg^{-1}) determinado por espectrofotometría de absorción atómica, practicados en laboratorio al alimento balanceado y forraje suministrados a caballos Santa Gertrudis durante el período de estudio.	25
Cuadro 2. Concentración de macro minerales en suero sanguíneo de caballos Santa Gertrudis (mg dL^{-1}) suplementados con levadura de Se durante el período de septiembre a diciembre de 2017	30
Cuadro 3. Concentración de micro minerales en suero sanguíneo de caballos Santa Gertrudis (mcg mL^{-1}) suplementados con levadura de Se durante el período de septiembre-diciembre de 2017	36
Cuadro 4. Valores medios de las variables hematocrito (%) y cambio de peso vivo (kg) de caballos Santa Gertrudis suplementados con levadura de selenio en el periodo septiembre-diciembre de 2017	43

1. RESUMEN

El selenio (Se) es parte de la enzima glutatión peroxidasa (GSH-Px), en conjunto con la vitamina E, constituye parte del sistema antioxidante del organismo, contribuyendo así a una mejor capacidad de respuesta inmune del mismo. El objetivo de esta investigación fue establecer un diagnóstico del estado mineral en alimentos y suero sanguíneo, así como evaluar el efecto de complementar, durante septiembre a diciembre de 2017, selenio orgánico (levadura de selenio) sobre la concentración sérica de Se, hematocrito y cambio de peso de caballos Santa Gertrudis de la Sección Ecuestre del Heroico Colegio Militar, Campo Militar 1-C, Tlalpan, Ciudad de México.

Se usaron 40 ejemplares de 500 ± 50 kg PV; 20 por tratamiento, distribuidos aleatoriamente a T1=dieta base (DB) sin Se y T2=dieta base+0.3 mg Se kg^{-1} MS. La premezcla de Se (® Sel-Plex; All Tech, 1000 ppm de Se), se suministró diario con el alimento matutino, la dieta base consistió en 6 kg de heno de avena y 3.5 kg de alimento concentrado por día. En la semana uno de cada mes, se colectaron por punción de la vena yugular, 10 mL de sangre, el suero obtenido fue congelado a -20 °C para medir después la concentración mineral en el laboratorio. La dieta basal (DB) suministrada cubrió los requerimientos de Ca, P, Mg, K y Na (NRC, 1989); sin embargo, hubo inadecuada relación Ca:P en el suero sanguíneo, con exceso de Ca en los caballos con y sin Se, este efecto fue más notable de octubre a diciembre; hubo deficiencia de Mg en el grupo con Se ($P < 0.05$), con mayor notoriedad durante septiembre a diciembre; asimismo, hubo deficiencia de K en ambos grupos de caballos, principalmente de octubre a diciembre; y exceso de Na en caballos con y sin Se, en septiembre, noviembre y diciembre de 2017.

La DB suministrada tuvo deficiencias de Cu, Zn y Se ($P < 0.05$), y no cubrió los requerimientos de los caballos, manifestándose deficiencias de estos micro minerales en ambos grupos de caballos, en los cuatro meses del estudio. La DB tuvo más Fe al requerido por los caballos, con excesos en ambos grupos de caballos, principalmente de octubre a diciembre. En ambos grupos con y sin Se, en todo el período del estudio, el hematocrito tuvo concentraciones normales; ambos grupos de caballos, con y sin Se, conservando un peso vivo mayor a 540

kg y con incrementos de peso de septiembre a diciembre que comprendió el estudio. Se concluye que los caballos de raza Santa Gertrudis, pertenecientes a la Sección Ecuestre del Heroico Colegio Militar, Campo Militar 1-C, Tlalpan, Ciudad de México, presentan desequilibrios minerales a través de los meses del estudio, observándose deficiencia de los macro minerales Mg y K, y de los micro elementos Co, Zn y Se; asimismo, hubo exceso de Ca, Na, Fe e inadecuada relación de Ca:P; los valores de hematocrito estuvieron dentro del rango normal, pero el suministro de Se orgánico en la dieta no corrió totalmente la concentración de Se en el suero sanguíneo de los caballos, observando deficiencias marginales.

Palabras clave: Caballos, Minerales, Selenio Orgánico, Suplementación, Suero Sanguíneo.

2. INTRODUCCIÓN

Los elementos minerales tienen tres principales tipos de funciones en el organismo: 1) componentes estructurales de órganos y tejidos; 2) como electrolitos que intervienen en la presión osmótica, y 3) catalizadores en sistemas enzimáticos y hormonales. Una función importante de los elementos metálicos es su rol estructural de metaloenzimas o como activadores en tales sistemas (Figueroa *et al.*, 1997).

El caballo, como las demás especies debe beneficiarse de los importantes progresos en la nutrición animal, para ello, el racionamiento tendrá en cuenta las necesidades nutricionales propias de los equinos y las exigencias particulares de cada especialización, particularmente las de los caballos valiosos de aptitud deportiva (Soriano, 2010). La alimentación condiciona, de modo determinante, los resultados técnicos y económicos de la producción de los animales, así como su estado de salud, constituyendo todo ello un elemento importante de su valor (Soriano, 2010).

Las deficiencias o excesos minerales pueden alterar la homeostasis del organismo, ocasionando osteoporosis, rigidez de articulaciones y desbalance ácido-básico, lo cual puede mermar la calidad de vida productiva y el estado reproductivo de los equinos (NRC, 1989). La concentración de minerales en tejidos y fluidos de caballos, así como sus requerimientos varían con la edad, sexo y estado fisiológico (Cunha, 1991). Se consideran catorce los minerales esenciales para caballos y se pueden dividir en macro minerales: calcio (Ca), fósforo (P), sodio (Na), cloro (Cl), magnesio (Mg), potasio (K) y azufre (S) y micro minerales: cobre (Cu), cobalto (Co), flúor (F), yodo (I), manganeso (Mn), selenio (Se), zinc (Zn) y hierro (Fe). (NRC, 1989).

Las fuentes minerales para caballos provienen del forraje (verde), alimentos fibrosos y cereales; en estos la disponibilidad de minerales se ve influida por la concentración en suelo, etapa de madurez de la planta, especie vegetal, condiciones de cosecha, y método de conservación. El contenido de minerales en el alimento se refleja en los caballos, puesto que se presentan variaciones en la concentración de minerales en suero sanguíneo (Underwood, 2002).

Recientemente, los avances tecnológicos han permitido que la nutrición animal cuente con fuentes orgánicas como los minerales quelados unidos a algún aminoácido o carbohidrato; estas fuentes orgánicas tienen mayor biodisponibilidad y cubren mejor el requerimiento del animal para funciones de mantenimiento y producción.

El selenio es un mineral traza esencial requerido por los caballos (NRC, 1989). En el metabolismo celular, el selenio se une a una proteína para formar la selenoproteína glutatión peroxidasa (GSH-Px) la cual se encuentra en células y tejidos animales, esta actúa como donador de electrones para depurar los radicales de oxígeno libres. El sistema antioxidante formado por la vitamina E y Se actúan de la siguiente forma: la vitamina E como componente lipídico de las membranas celulares previene la formación de peróxidos tóxicos para dichas membranas, la GSH-PX destruye los peróxidos formados dentro del citosol (Figuroa *et al.*, 1997). El requerimiento estimado de Se para caballos en todos los estados fisiológicos es de 0.1 mg kg⁻¹ de MS y se basa en la respuesta de las concentraciones sanguíneas de Se y biomarcadores relacionados como la actividad de la glutatión peroxidasa (GSH-Px), con concentraciones dietéticas variables de Se (NRC, 1989), sin embargo Janicki *et al.* (2001) encontraron mayor contenido de anticuerpos en potros de yeguas que recibieron 3 mg de Se d⁻¹, comparado con yeguas que recibieron solamente 1 mg de Se d⁻¹; lo anterior sugiere que el consumo de Se necesario para una función inmune óptima, puede ser mayor al requerido para prevenir los síntomas de la deficiencia de Se clásica (NRC, 2007).

La suplementación con Se ha sido una preocupación en las áreas con alta incidencia de la enfermedad del músculo blanco en potros (Lofstedt, 1997). En la nutrición equina, el Se también es de interés debido a sus efectos sobre la función inmune del caballo (Baalsrud y Overnes, 1986; Knick y Tyznik, 1990, Janicki *et al.*, 2000; 2001) y la tolerancia al ejercicio (Brady *et al.*, 1978; Avellini *et al.*, 1999). Los resultados de tales experimentos son a menudo no concluyentes o contradictorios, lo que indica la necesidad de una comprensión más completa del metabolismo del Se en los equinos.

Las fuentes inorgánicas y orgánicas de Se, se metabolizan de manera diferente (Deagen *et al.*, 1987; van Ryssen *et al.*, 1989; Mahan *et al.*, 1999). Cuando se suplementan a no-ruminantes, las fuentes inorgánicas de Se, como el selenito sódico, parecen incorporarse más rápidamente a la GSH-Px que las fuentes orgánicas tales como la selenometionina (Se-Met, Levander *et al.*, 1983; Mahan *et al.*, 1999). Por otra parte, el Se-Met, que es la forma orgánica predominante de Se en plantas y levaduras, se incorpora inespecíficamente en los tejidos en lugar de la metionina (Schrauzer, 2000) y tal parece que se incorpora mejor a los tejidos en comparación con el Se inorgánico (Deagen *et al.*, 1987; Mahan *et al.*, 1999). El metabolismo de la selenocisteína, otra fuente orgánica de Se, parece ser similar a la del selenito de sodio (Deagen *et al.*, 1987).

El objetivo del presente estudio consistió en determinar las concentraciones séricas de los minerales en los caballos, así como evaluar el efecto de una fuente orgánica de Se sobre el cambio de PV, concentración en suero sanguíneo de Se, inmunoglobulinas, y variables hemáticas de los caballos durante cuatro meses (agosto a diciembre de 2017).

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Alimentación y nutrición de los equinos

Actualmente se han desarrollado técnicas de alimentación para caballos, por lo general, con distinto punto de vista de criadores y manejadores, las cuales se basan en conceptos empíricos transmitidos de generación en generación, entre estas es común adicionar a una fórmula desbalanceada, otros componentes como granos de cereales o salvado de trigo, lo que causa un total desequilibrio a la ración (Soriano, 2010). Los malos hábitos de manejo y alimentación, se observan al momento de exigir al caballo en una demostración, competencia o rutina de trabajo fuerte; la alimentación con exceso de carbohidratos o grasas favorece el sobrepeso y disminuye masa muscular, lo que repercute en la respuesta a la exigencia física. Incluso el problema puede tener origen en la alimentación durante el período de crecimiento, la cual es muy importante para obtener el máximo rendimiento del animal adulto (Soriano, 2010).

Al igual que la energía y la proteína en dietas para caballos, los minerales y las vitaminas son importantes para el desarrollo y mantenimiento de huesos, músculos y otros tejidos; aunque las necesidades de estos nutrientes no deben ser suplidas en grandes cantidades, no obstante, es necesario suplementarlas diariamente para cubrir funciones esenciales del organismo (Soriano 2010). Las fuentes de minerales para caballos son típicamente forrajes y cereales. Dado que la disponibilidad de minerales depende de su concentración en suelo, madurez de los forrajes, especies vegetales, condiciones de cosecha y método de conservación, esto causa variaciones minerales en suero sanguíneo y tejidos del caballo. De acuerdo con el NRC (1989), hay 15 minerales esenciales para los equinos, 7 macro minerales (Ca, P, Mg, K, Na, Cl y S) y 7 micro minerales (Cu, Zn, Fe, I, Mn, Co y Se) (Domínguez, 2016). El Selenio es un mineral esencial para el mantenimiento y desarrollo de las funciones del organismo animal. El interés por la determinación de los valores de éste oligoelemento en los animales comenzó cuando se conocieron sus efectos tóxicos, siendo responsable de la llamada “Enfermedad del álcali o vértigo ciego”. Esta situación adquirió mayor relevancia

tras el descubrimiento de la esencialidad de este mineral para la salud de los animales (Tapia-Berly, 2013).

3.2 Vitaminas y minerales como nutrientes en caballos

3.2.1 Vitaminas

Los caballos necesitan vitaminas para las funciones normales del organismo, estas las obtiene a partir de:

- Alimentos concentrados
- Suplementos nutricionales, y por
- Síntesis microbiana en el tubo digestivo

Las vitaminas hidrosolubles son relativamente no tóxicas, pero los excesos de vitaminas liposolubles pueden tener efectos colaterales serios. En caballos sometidos a trabajo diario o a algún entrenamiento físico se ha demostrado incremento en los requerimientos de ciertas vitaminas, sí se comparan con aquellos que se encuentran en mantenimiento. Las vitaminas A, D, E, y las del complejo B, son vitaminas que necesitan ser suplementadas conforme los equinos son sometidos a aumentos en los niveles de trabajo o exigencia física (Soriano, 2010).

3.2.2 Minerales

Los caballos requieren en su dieta por lo menos 15 minerales diferentes macro-elementos (calcio, fósforo, magnesio, sodio, potasio, cloruro y azufre) y micro elementos o elementos traza (hierro, cobre, zinc, manganeso, cobalto, selenio, yodo y flúor) (NRC, 1989). Estos son esenciales en la dieta de los caballos, sin embargo, pueden ser tóxicos cuando se proporcionan en cantidades que excedan los requerimientos de los animales o en una forma desbalanceada. Los minerales traza son la llave para un mayor rendimiento o para una actuación pobre cuando son suministrados en forma inapropiada (NRC, 1989; NRC, 1995; Soriano, 2010).

La suplementación de los micro minerales en la dieta de caballos es compleja, existe mucha confusión dentro de la misma comunidad científica debido a la complejidad y a la misma interacción de los minerales (Soriano *et al.*, 2010).

3.3 Electrolitos

Los electrolitos son minerales que están disueltos en sangre y tejidos del cuerpo, constituyendo aproximadamente 4% del peso corporal. Al ser disueltas estas sustancias, una cantidad variable de moléculas que la componen se dividen en partículas compuestas por átomos o grupos de átomos. Estas partículas se comportan independientemente unas de otras. Esta propiedad se llama disociación y las partículas son llamadas iones (pueden tener carga eléctrica positiva o negativa). Están implicados en prácticamente todas las funciones del cuerpo, lo que quiere decir que son indispensables para el caballo y de aquí su importancia en el estudio de la medicina deportiva. Según su concentración en el organismo del animal se los divide en macro y microminerales (Martin, 2016).

3.4 Calcio (Ca)

Es parte fundamental de la estructura de los huesos (35%), representando el 2% del peso corporal del equino. Está envuelto en funciones corporales como contracción muscular, coagulación, transmisión nerviosa, secreción de hormonas y activación de enzimas. La digestibilidad del Ca varía con la edad; es aproximadamente 70% en animales jóvenes y 50% en adultos. Su requerimiento es variable según los cálculos dependiendo de la actividad del animal y el estado fisiológico, aumentando con el ejercicio, con el desarrollo de los huesos y pérdidas endógenas, así como su depósito en músculos. Excesos de Ca pueden generar laminaciones en huesos e interferir en la absorción de P, Mn, Zn, Fe y Cu (Martin, 2016). La principal repercusión de la falta de Ca es sobre el sistema óseo. En potros en desarrollo la deficiencia de Ca, conduce a raquitismo caracterizado por una pobre mineralización del tejido óseo, problema de articulaciones y

malformaciones de los huesos largos; en equinos maduros, se produce osteomalacia, en ambos casos se produce reblandecimiento de los huesos y con ello la deformación de estos. Se desconocen informes sobre intoxicación aguda por calcio, sin embargo, la ingesta de cantidad mayor a los requerimientos de los equinos deriva en anomalías óseas que pueden ser consideradas como efectos de toxicidad (Sánchez, 2011). Los requerimientos de Ca en la ración son de 0.35% a 0.4% para un caballo de 500 kg (Martin, 2016).

3.5 Fósforo (P)

Es requerido para la formación de huesos (14 – 17%), además forma parte de las reacciones de transferencia de energía, síntesis de fosfolípidos, ácidos nucleicos y fosfoproteínas. Su eficiencia en absorción es estimada de 30% a 55% y varía con la edad del animal, la concentración del mismo en la dieta y la presencia de fitatos (Martin, 2016).

El signo frecuente de la carencia de fósforo en el animal joven es el raquitismo. La excreción de P es mayor cuando la ingestión de calcio es alta, esta excreción se manifiesta como calcificación reducida, al avanzar la carencia hay pérdida del apetito y con ello retraso en el crecimiento, no obstante, la manifestación de apetito excesivo los lleva a desórdenes alimenticios como la ingesta de madera. El hiperparatiroidismo secundario nutricional presentado como una reabsorción ósea excesiva (osteodistrofia fibrosa), por exceso de fósforo en la dieta, aunque las concentraciones de calcio en la dieta sean adecuadas, conlleva a la presentación de signos como: cojera y fracturas de huesos largos; en los equinos la dieta rica en fosfato disminuyen la absorción intestinal de Ca, el nivel de Ca plasmático y su retención (Sánchez, 2011). Los requerimientos de P en la ración son de 0.25% a 0.35% para caballos de 500 kg de PV. Es importante en toda dieta el mantenimiento de la relación Ca:P en 1.5 - 2:1 (niveles inferiores a relación Ca: P de 1.1:1 pueden originar malformaciones óseas, epifisitis y osteofibrosis) (Martin, 2016).

3.6 Sodio (Na)

Es el catión de mayor presencia a nivel extracelular y es absorbido en un 100%. Actúa fundamentalmente en el mantenimiento del balance ácido-base, la regulación osmótica de los fluidos corporales, transmisión nerviosa y en la regulación del potencial de la membrana celular (Martin, 2016). La deficiencia aguda de Na produce incoordinación de las contracciones musculares, disminución crónica del mineral, disminución del consumo de agua y alimento, así como lamer objetos contaminados con sudor y madera. La concentración de sodio y cloro bajan al aumentar la ingestión de K (NRC, 1989; NRC, 2007). Los equinos con alimentación deficiente en Na excretan iones de amonio. Hay otros casos en los que es posible la deficiencia de sodio, tales como afecciones renales, enfermedades de glándulas adrenales y del intestino. Ya que la mayoría de los ingredientes de origen vegetal son deficientes en este catión, al adicionar cloruro de sodio se corre el riesgo de provocar un desbalance electrolítico (Sánchez, 2011). Un equino de 500 kg necesita 2 a 3 g de Na d⁻¹ como requerimiento básico, sin embargo, puede aumentar por el calor, humedad o trabajo (Martin, 2016).

3.7 Potasio (K)

El potasio es el principal catión intracelular. Actúa en el equilibrio ácido base y regula la presión osmótica. Los aportes de potasio están garantizados cuando los animales consumen cantidades adecuadas de forrajes (más del 1% del peso vivo) (Martin, 2016). El contenido de potasio en los pastos es alto, así que la ingestión por los animales de este elemento es mayor que otros elementos. Una excepción son los granos sometidos a fermentación, ya que estos son deficientes en elementos solubles que incluyen al K. Aunado a ello hay áreas en las que el suelo posee poco potasio especialmente al final de la estación de secas, cuando el nivel de K en plantas maduras es bajo (Sánchez, 2011). En caso de ser necesario, el cloruro de potasio o carbonato de potasio son las fuentes adecuadas. La concentración óptima de potasio en la dieta es de 0.4-0.5% por kg de MS. Sus requerimientos aumentan con el crecimiento y el trabajo (Martin, 2016).

3.8 Magnesio (Mg)

Constituye el 0.05% del organismo y el 60% está asociado con el esqueleto (Martin, 2016). Es un activador enzimático y actúa en la contracción muscular. Su digestibilidad es de 40%, siendo afectada la misma por exceso de P y de Ca (Martin, 2016). La manifestación clínica de una deficiencia severa de Mg incluye debilidad muscular, arritmias ventriculares, ataxia y coma. La deficiencia subclínica aumenta la respuesta inflamatoria sistémica, arritmias cardíacas, hipocalcemia e hipomagnesemia. Se han encontrado concentraciones séricas bajas en Mg en 49% de los equinos hospitalizados, 54% de equinos con cólico y 78% con enterocolitis (Sánchez, 2011). Para un equino adulto de 500 kg en mantenimiento, son necesarios 7.5 g por día. Los requerimientos aumentan en crecimiento y ejercicio intenso (Martin, 2016).

3.9 Manganeso (Mn)

Es esencial para el metabolismo de carbohidratos y lípidos. Es importante para la síntesis de glicosaminoglicanos (GAGS) y está también relacionado con el desarrollo óseo (Martin, 2016). Los principales signos de deficiencia son: estros retrasados, reducida fertilidad y abortos espontáneos en las yeguas, los potros nacen con deformidades esqueléticas y contracturas musculares, como asimetría de cráneo, curvaturas en la columna vertebral, acortamiento en los huesos de los miembros, deformidades articulares y contractura de los músculos del cuello (Puls, 1988). Su requerimiento en equinos es de 40 mg kg⁻¹ MS d (Martin, 2016).

3.10 Cobre (Cu)

Factor anti anémico que actúa en la síntesis de hemoglobina y la maduración de los glóbulos rojos de la sangre. También actúa sobre la mielinización del sistema nervioso, condiciona la formación y desarrollo del hueso por la estimulación de la producción de colágeno; evita la formación de excrecencias cartilaginosas en carpo y tarso, y aumenta la resistencia a las

fracturas, también actúa en la síntesis y mantenimiento de la elasticidad del tejido conectivo, en la movilización del Fe, preservación de la integridad de las mitocondrias y en la síntesis de las mitocondrias (Martin, 2016; Sánchez, 2011).

La deficiencia de este mineral presenta diversos signos en los que se encuentran la anemia, crecimiento deficiente en los huesos, infertilidad y despigmentación del pelo, así como las afecciones gastrointestinales hasta lesiones en sistema nervioso central (Sánchez, 2011). Las necesidades de Cu para un caballo de 500 kg PV son 82 ppm d⁻¹ (Martin, 2016).

3.11 Hierro (Fe)

Es parte fundamental de la hemoglobina y la mioglobina. Los fitatos y altos niveles de cadmio, cobalto, manganeso y zinc inhiben su absorción. Se produce en muy baja proporción y solo cuando hay alguna pérdida de sangre sea interna o una hemorragia externa (Martin, 2016). Un caballo deficiente en hierro se encuentra con anemia y no puede utilizar la energía adecuadamente, sin embargo, no es muy común la deficiencia de este mineral, a menos que haya pérdida importante de sangre por parasitismo severo o por traumatismos (Sánchez, 2011). Generalmente los alimentos que se proveen contienen una cantidad suficiente de hierro para satisfacer las necesidades diarias de este mineral. Los requerimientos están entre 40 y 50 mg kg⁻¹ MS (Martin, 2016).

La toxicidad por hierro se manifiesta por la interacción antagonista con otros elementos, el consumo natural, pero prolongado de este elemento causa deficiencia de cobre, también se han observado bajas concentraciones en suero e hígado con un consumo de 890 mg kg⁻¹ MS de Fe. En la intoxicación por Fe se observa disfunción hepática, expresada como letargia, ictericia, trombocitopenia y concentración elevada de fosfatasa alcalina (Sánchez, 2011).

3.12 Zinc (Zn)

Se presenta en el cuerpo como componente de muchas metaloenzimas como anhidrasa carbónica, fosfatasa alcalina y carboxipeptidasa. Las

concentraciones más elevadas se dan en el ojo y en la próstata. Las concentraciones más bajas se localizan en la sangre, pulmones y cerebro. Los requerimientos son de 50 mg kg⁻¹ MS; el exceso interfiere en la absorción de Cu y Mg (Martin, 2016).

3.13 Importancia del selenio en la nutrición del caballo

El selenio es un mineral traza esencial para la salud y adecuado desempeño del caballo, el uso de este mineral depende de distintos factores fisiológicos como el mismo metabolismo del animal, el cual tiende a proporcionar protección antioxidante para la prevención de daños celulares, sin dejar a un lado su importancia en el crecimiento, la función inmune y la reproducción (NRC, 1989; Soriano, 2010).

El National Research Council (NRC, 1989) recomienda suministrar, al menos, 0.1 partes por millón (ppm) de selenio en la dieta total de los caballos, suficiente para caballos maduros en actividad; sin embargo, los requisitos para los caballos con alta velocidad de crecimiento, reproductores y caballos de alto rendimiento, deben ser más altos, sugiriéndose alrededor de 3 ppm o 3 miligramos (mg) por kg de MS por caballo por día en la dieta total (NRC, 1989; Soriano, 2010).

El selenio es parte integral del sistema antioxidante que permite la supervivencia en un medio ambiente rico en oxígeno. El selenio está relacionado con la resistencia a la enfermedad, se utiliza como medio terapéutico para aumentar las defensas inmunitarias; en los caballos de alto rendimiento, debido a un aumento del estrés, hay un requerimiento mayor de este mineral (NRC, 1989; Soriano, 2010).

En el caso de los equinos, como en la mayoría de los demás mamíferos, el nivel adecuado de selenio en la dieta es esencial como sostén de la buena función de muchos sistemas en el organismo. Igualmente, existen numerosas proteínas que contienen selenio y funcionan como enzimas, como glutatión peroxidasa; son enzimas antioxidantes que ayudan a proteger al organismo de los

efectos de los químicos reactivos producidos durante el metabolismo, que pueden dañar a las membranas celulares y al tejido muscular (NRC, 1989; Soriano, 2010).

El Se forma parte de la enzima Glutación Peroxidasa (GSH-Px), la cual se encarga de catalizar la reducción de peróxidos para proteger a las células del daño oxidativo. La inactivación del metabolito oxigenado al transformarse en agua, evita los daños sobre la integridad celular. Por lo anterior, esta enzima es responsable de la protección de la membrana celular y del daño que sobre estas pueden causar los peróxidos orgánicos (Tapia-Berly, 2013).

En el organismo, la principal función de selenio es evitar y/o reducir los daños provocados por los radicales libres; estos compuestos se producen de manera continua por varias vías metabólicas, y cuando sus niveles exceden la defensa antioxidante natural de organismo, se producen lesiones celulares (daños en músculo esquelético, desde lesiones pequeñas hasta miopatías y hemólisis), trastornos fisiológicos, músculo blanco (sobre todo en animales jóvenes) y cambios patológicos. Diversos estudios señalan que la suplementación de Selenio incrementa la actividad de la GSH-Px, reduciendo de manera considerable los daños originados por los radicales libres. La función del selenio resalta básicamente por los siguientes aspectos: función inmune, tolerancia al ejercicio, producción de las hormonas de la tiroides (NRC, 1989; NRC, 1995).

3.14 Requerimientos de selenio en equinos

El Selenio está ampliamente distribuido en el ambiente terrestre, pero varía su contenido y biodisponibilidad en los forrajes y en los suelos. En este último, se encuentra distribuido con un promedio de 0.09 ppm, generalmente asociado a otros minerales como el azufre. La biodisponibilidad del Se en los distintos tipos de suelo es muy variable, lo cual depende de factores tales como: contenido de minerales, forma química en que el Selenio está presente, contenido de materia orgánica y actividad microbiana del suelo, pH del suelo, características climáticas, época del año y prácticas de manejo de los mismos suelos. También influyen las

especies forrajeras presentes, algunas se conocen como plantas indicadoras o acumuladoras, y pueden acumular más de 1000 ppm de Se (Tapia, 2013).

La forma principal en que los caballos obtienen Se, es a través del consumo de los forrajes, en los forrajes el Se está en forma orgánica, conocido como selenometionina (SeMet) que comprende la fuente principal. Sin embargo, la concentración de Se en el grano de cereales y forrajes es muy variable, por tal motivo los suplementos de Se se han convertido en una parte esencial de las premezclas minerales para los caballos (Calamari et al., 2006).

El requerimiento mínimo de Selenio en el forraje suministrado a los equinos en pastoreo es de 0.1-0.2 ppm (NRC, 1989). La concentración sanguínea de Selenio en equinos varía entre 0.17-0.25 ppm, en el caso de haber deficiencia su valor está entre 0.096-0.160 ppm; y para concentraciones de toxicidad, los valores encontrados son de 1.10-6.36 ppm. Existe alta correlación para la actividad sanguínea de GSH-Px con niveles de Se en sangre, $r=0.94$ ($P<0.001$) para equinos y para bovinos de $r=0.97$ ($P<0.05$), esta relación permite establecer de manera indirecta el balance y concentración de Se en sangre a partir de la actividad de GSH-Px. Con la actividad de GSH-Px, se puede tener una aproximación confiable del estado metabólico nutricional de Se en el animal, sin embargo, esta actividad refleja el consumo de Se entre 3 a 4 meses anteriores a tomar la muestra, debido a que se incorpora al eritrocito durante la eritropoyesis (Tapia, 2013).

3.15 Deficiencia de selenio

La carencia de Se se corresponde con una disminución de la actividad enzimática de GSH-Px, dejando a la célula expuesta a la acción nociva de los radicales oxigenados reactivos, esto permite que se altere la estructura de los lípidos, proteínas, polisacáridos, el ADN y otras moléculas presentes en la célula. En equinos las bajas concentraciones de selenio están asociadas con la presentación de una mio degeneración nutricional y el padecimiento conocido como esteatosis (Tapia, 2013).

La mayoría de los casos de deficiencia de Se en equinos se presentan en potros los primeros 10 meses de edad; sin embargo, en adultos, la deficiencia más severa causa daño muscular, traducido clínicamente en rigidez, lo que dificulta la marcha, con claudicación crónicas y dolor muscular; bioquímicamente el daño se manifiesta con liberación excesiva de enzimas a la sangre, como la creatinina fosfocinasa (CK) y la aspartato aminotransferasa (AST) (Figuroa et al., 1997).

3.16 Dinamismo biológico del selenio

La actividad biológica más importante del Se es a través de la enzima Glutación Peroxidasa (GSH-Px), lo cual en cooperación con la vitamina E y algunos otros agentes antioxidantes, son capaces de reducir los efectos destructivos sobre las células vivas de reacciones peroxidativas. La vitamina E previene la formación de peróxidos grasos por secuestro de radicales libres antes de que ellos inicien la peroxidación grasa. El selenio, como parte esencial del GSH-Px, reduce los peróxidos ya formados para tener menos alcoholes reactivos. Sin embargo, hay diferentes formas de esta enzima, las cuales funcionan en diferentes sitios (citosol, plasma, hidroperóxido, fosfolípido, intestino y pulmón). La distribución de los tipos de GSH-Px difiere por tejido y por especie animal, consecuentemente, los síntomas clínicos en cada especie, podrían reflejar diferentes distribuciones de los sistemas antioxidantes GSH- Px (Soriano, 2010).

El Se presente en forma de selenometionina (en la estructura de la glutatión peroxidasa) se transporta activamente a través de las membranas intestinales durante el proceso de absorción y se incorpora inespecíficamente en proteínas tisulares en lugar de la metionina durante la síntesis proteica. Por el contrario, él Se inorgánico se absorbe a través de difusión pasiva y poco se conserva en las reservas tisulares; en consecuencia, una gran proporción del Se inorgánico consumido se excreta en las heces y la orina (Calamari *et al.*, 2006).

3.17 Suplementación de selenio en equinos

Los suplementos de selenio son de dos formas químicas, las formas inorgánicas (generalmente selenito de Na o selenato) y las formas orgánicas (levadura de Se o grano de cereal alto en Se). Las formas inorgánicas y orgánicas de suplementos de Se dietético se metabolizan de manera diferente (Calamari et al., 2006). Actualmente no hay regulaciones específicas para la suplementar Se de los forrajes a equinos. El Consejo Nacional de Investigación (NRC, 2007) proporciona directrices nutricionales para los caballos; el NRC estima que el requisito de Se para los caballos maduros en reposo es de 0.1 mg/kg de MS de la dieta (Montgomery, 2011).

Se pueden añadir suplementos de Se para aumentar su concentración en henos o incluirlos en un bloque de minerales trazas con el fin de poner a disposición de los caballos de áreas con deficiencia de Se. Las formas de Se inorgánicas comúnmente incluyen selenito sódico y selenato de sodio. Un estudio que comparó la biodisponibilidad de selenito y selenato de Se en bovinos, ovejas y caballos, encontró que estos compuestos eran igualmente eficaces al aumentar la concentración sérica de Se y la actividad de la glutatión peroxidasa. El Se orgánico se suplementa comúnmente en la dieta como levadura fortificada con Se. La forma predominante de Se en la levadura es la selenometionina.

La fortificación de los cultivos alimentarios con Se es otra opción para la suplementación de Se y es una práctica común en algunas regiones del mundo con una concentración de Se naturalmente baja en el suelo; en estos lugares, se utiliza fertilizante que contiene Se para aumentar el contenido de Se de las plantas utilizadas para el consumo humano. El fertilizante enriquecido con selenio se ha utilizado con éxito en el aumento de la concentración de Se en el forraje ofrecido al ganado vacuno y ovino, sin embargo, esto no es actualmente una práctica común en las regiones agrícolas de América del Norte, y su uso se ha investigado recientemente en caballos en Europa (Montgomery, 2011).

La práctica de suplementar Se se ha realizado con el objetivo de restaurar o mantener el equilibrio oxidante/antioxidante, y parece ser una perspectiva prometedora para el bienestar y el rendimiento de los equinos. Dado que se ha demostrado que la administración combinada de diferentes antioxidantes induce efectos sinérgicos, se ha recomendado el uso de una combinación de antioxidantes en lugar de una única suplementación antioxidante en informes tanto de estudios *in vitro* como *in vivo* (De Moffats, 2005).

3.18 Uso de selenio orgánico

El selenio orgánico se obtiene mediante el proceso de fermentación de la levadura; en el caso de los caballos, fue aprobado su uso por la Food and Drug Administration (FDA) en 2004. La forma orgánica del mineral brinda la seguridad de ser un producto de alta biodisponibilidad y retención en el tejido del animal, es inocuo, reduce riesgos de intoxicación y de contaminación ambiental. Fisiológicamente la suplementación del selenio vía oral es la mejor forma de suplementar este elemento mineral de una manera constante, adicionalmente no representa ningún manejo extra, no pone en riesgo la salud del animal y su costo es muy económico (Biotecap, 2011).

La levadura de selenio se produce mediante el cultivo de cepas específicas de levadura en un medio enriquecido con Se, y aunque la distribución del Se en la levadura varía entre las fuentes, el (selenio metionina) SeMet es usualmente la forma predominante (Calamari *et al.*, 2006).

Debido a los beneficios probados en investigaciones sobre selenio orgánico, así como a estudios recientes de la Food and Drug Administration (FDA), se concluye que este tipo de fuente de selenio se absorbe mejor y es menos tóxico. El selenio orgánico es un nutriente más efectivo que el Se inorgánico para complementar la deficiencia presente confirmada en los caballos; en los caballos con estrés, este mineral en su forma orgánica está más disponible para mejorar las deficiencias, aumentar las defensas antioxidantes, así como una mayor

capacidad inmune que no proporciona fácilmente el selenio inorgánico (Soriano, 2010).

3.19 Raza de caballos Santa Gertrudis

3.19.1 Genotipo

La genética inicial, por parte de los sementales de la raza Santa Gertrudis, al parecer, proviene de diferentes razas, principalmente del “Cuarto de Milla”, Pura Sangre Inglés” y “Criollos” de la región, aunque también participaron razas pesadas, sin poder determinar exactamente cuáles son. Las yeguas de vientre fueron hembras “Criollas” de la hacienda de San Miguel Babicora, Chihuahua, del Criadero Militar el Sauz, Durango, y de las razas de caballos importadas de los Estados Unidos de Norte de América por el General Joaquín Amaro. Sin embargo, la raíz del árbol genealógico exacto de este noble caballo no puede ser precisado con exactitud (Haro, 2006).

En el año 2000, se realizó una investigación a nivel molecular denominada “Comparación genética de los caballos Warmblood Militares (WBM) con caballos Warmblood Civiles (WBC), Pura Sangre Inglés (PSI) y Criollos mediante marcadores de ADN”. Este estudio, tenía como objetivo principal, investigar la diversidad genética de los WBM, así como la similitud y relación genética con los caballos WBC, PSI y Criollo, utilizando doce marcadores genéticos microsatélites. Para esto se seleccionaron caballos Criollos al azar como control negativo para las cuestiones deportivas, ya que aparte de su exhaustivo proceso de “selección natural”, este ha sido seleccionado por muchos años basándose principalmente en su resistencia y desempeño en el trabajo de campo en el Criadero Militar de Ganado, Santa Gertrudis, Chihuahua (Haro, 2006).

Por lo que respecta a los resultados obtenidos en lo que concierne a los caballos Criollos, se encontró, inesperadamente, que estos equinos tienen similitud genética de 67% con los caballos WBC; lo cual indica, que deben tener un conjunto de genes de líneas de caballos Warmblood. Sin embargo, esas líneas genéticas deben ser diferentes a las presentes en los caballos WBM, porque entre

los caballos Criollos y los WBM, no hubo una similitud genética importante. Recomendando la necesidad de investigar el linaje preciso de los caballos Criollos en los archivos del Criadero Militar de Ganado para determinar si en algún periodo se introdujeron algunas líneas de caballos Warmblood (Haro, 2006).

3.19.2 Fenotipo

Si entendemos como morfología a la ciencia que trata de la configuración o estructura de los animales, y al fenotipo, como la disposición de la partes que forman una cosa y que en cualquier ser vivo ambas están condicionadas totalmente por la genética, el medio ambiente y la alimentación; entonces, el caballo de raza “Santa Gertrudis”, es un producto digno de estos tres aspectos, que definitivamente son los más importantes en el diseño de todas las razas de cualquier especie existente en el mundo (Haro, 2006).

Descripción del fenotipo Santa Gertrudis.

A	Cabeza	De regular tamaño con relación al resto del cuerpo y con perfil recto en la mayoría de los casos.
B	Cuello	Bien implantado, de mediano a corto, grueso, fuerte, musculoso y moderadamente arqueado en su parte superior.
C	Nuca	Ancha, elevada y redonda hacia los lados.
D	Frente	Ancha y plana.
E	Cara	De tamaño media y expresiva.
F	Orejas	Delgadas, arqueadas, no muy largas y algo próximas.
G	Ojos	Grandes y expresivos.
H	Ollares	De tamaño medio, en concordancia con el resto de la cara.
I	Crin	Gruesa y áspera, adaptada al modo de crianza, inclinada y embarrada de preferencia hacia el lado de montar.
J	Cruz	Alta, sin llegar a verse desproporcionada.
K	Dorso	Generalmente recto y corto, pero con buen asiento para la silla.
L	Cola	Abundante, larga y gruesa, adaptada también a su medio ambiente y con un maslo corto, ancho de arriba y angosto de abajo.
M	Pecho	Profundo y ancho, es decir, de gran capacidad torácica, indicando su adaptación al trabajo, que por muchos años ha tenido que desarrollar.
N	Espalda	Mediana, curva y muy musculosa.
O	Miembros	De medianos a largos y casi sin defectos de aplomo.

	torácicos y pelvianos	
P	Cascos	Excesivamente duros, gruesos y resistentes, generalmente de color negro, bien adaptados a su medio ambiente.
Q	Grupa	Ancha y redondeada en su vista caudal e inclinada y poco descarnada en su vista lateral.
R	Alzada	De 1.55 m en adelante.
S	Color de la capa de pelo	Los colores reglamentarios son: Alazán, Prieto, Colorado y Retinto.
T	Condición corporal	Se mantienen en mucha mejor condición en relación con el alimento (cantidad y calidad) que reciben si se compara con animales de otras razas en las mismas condiciones.
U	Alzada	La alzada promedio es de 1.67 m aproximadamente y sin encontrarse gran disparidad en esta medida.
V	Estampa	Existe una gran similitud en cuanto a su estampa con escasas diferencias constituyendo un grupo muy homogéneo.

Modificado de Haro (2016).

4. JUSTIFICACION

La alimentación y nutrición del ganado se convierte en un esfuerzo menos empírico cuando se dispone de la información necesaria para equilibrar científicamente las dietas. El rendimiento equino está influenciado por factores genéticos, nutricionales, de salud y de manejo. Por lo tanto, la nutrición óptima es esencial para que un potro logre rendimiento máximo. Del mismo modo, la nutrición es fundamental para fines de cría, ya que se han identificado varios problemas reproductivos debidos a deficiencias nutricionales (Domínguez, 2016). En muchas regiones de México, los caballos son importantes para las actividades agrícolas, pero a menudo no se abordan los problemas nutricionales. Por esta razón, la investigación en nutrición mineral equina es escasa y con frecuencia los minerales no se tienen en cuenta al equilibrar las raciones. Se han identificado signos y síntomas asociados con deficiencias de minerales en caballos de pastoreo, aunque pocos son diagnosticados como resultado de ensayos de laboratorio (Domínguez, 2016).

La nutrición del selenio es importante debido a sus efectos sobre la función inmune, la tolerancia al ejercicio y las hormonas tiroideas. Debido a que los resultados de tales experimentos pueden ser inconclusos o contradictorios, existe la necesidad de una comprensión más completa del metabolismo del Se, especialmente para los equinos.

5. HIPÓTESIS

Los caballos de la raza Santa Gertrudis pertenecientes a la Sección Ecuestre del Heroico Colegio Militar, situado en el Campo Militar No. 1-C, Tlalpan, Ciudad de México, presentan desbalances minerales en el suero sanguíneo, entre ellas la de selenio, las cuales pueden variar a través del tiempo, por lo que la suplementación oral de una fuente orgánica de Se mejorará su peso vivo, en valor del hematocrito, así como los niveles de Se en el suero sanguíneo de los caballos.

6. OBJETIVOS

6.1 General

Determinar durante el período de septiembre a diciembre de 2017, el perfil mineral de Ca, P, Mg, K, Na, Co, Cr, Mn, Mo, Cu, Fe, Zn y Se en el suero sanguíneo de 40 caballos de la raza Santa Gertrudis y evaluar el efecto de suplementar selenio orgánico en el cambio de peso vivo, concentración de Se en suero sanguíneo y hematocrito.

6.2 Específicos

- Suplementación durante cuatro meses de una fuente de Se orgánico en caballos Santa Gertrudis.
- Determinación los niveles de Se en caballos Santa Gertrudis.
- Monitoreo cambios de peso vivo de los caballos Santa Gertrudis.
- Determinar la variable hematocrito en los caballos.

7. MATERIAL Y MÉTODOS

- 40 caballos de la raza Santa Gertrudis, con peso vivo promedio (500 kg \pm 5.0) pertenecientes a la Sección Ecuestre del Heroico Colegio Militar, situado en el Campo Militar No. 1-C, Tlalpan, Ciudad de México, los cuales fueron utilizados en los desfiles conmemorativos del día 16 de septiembre y 20 de noviembre de 2018.
- Tubos y agujas vacutainer
- Micro tubos
- Sangre completa
- Suero sanguíneo
- Centrifuga
- Marcadores
- Alimento: concentrado y forrajes
- Pre mezcla de selenio (® Sel-Plex; All Tech, 1000 ppm de Se)
- Reactivos, materiales y productos químicos para determinar minerales en suero sanguíneo y alimento, Se, inmunoglobulinas y hematocrito.
- Hojas de papel
- Cubetas de plástico
- Bolígrafos
- Plumones permanentes
- Computadora
- Cinta métrica

7.1 Animales y tratamiento

Los 40 caballos contemplados en el estudio fueron asignados aleatoriamente a uno de dos tratamientos:

T1= Testigo (sin Se, n= 20)	T2=Tratados con 0.3 mg Se kg ⁻¹ MS (n= 20)
-----------------------------	---

Tres semanas previo a los desfiles conmemorativos de los meses de septiembre y noviembre, los caballos fueron embarcados en el transporte y trasladados al campo militar No 1 para realizar dos practicas previas al desfile; el embarque comienza durante la madrugada 02:00 a 03:00 am, los semovientes son subidos, uno a uno, a los remolques, el viaje dura alrededor de 3 horas, una vez que arriban al lugar de práctica, son desembarcados y realizan prácticas de formación las que tienen una duración aproximada de 5 horas, posteriormente, son de nuevo embarcados y regresan a la sección ecuestre.

El día de los eventos son embarcados a partir de la 01:00 am y transportados al sitio de inicio del desfile en el centro de la ciudad de México, el desfile tiene una duración aproximada de 1.5 a 2 horas, recorriendo una distancia aproximada de 13 kilómetros, una vez terminada la cabalgata los caballos vuelven a ser transportados al Heroico Colegio Militar para ser resguardados y al día siguiente continuar con su rutina diaria.

El peso vivo de los caballos se obtuvo al medir del perímetro torácico y la longitud de los mismos usando el método de (Carrol y Huntington 1988), como se describe a continuación. $\text{Peso kg} = [\text{peso torácico (PT) cm}^2] \times [\text{longitud (de la punta del hombro a la punta de la tuberosidad isquiática) cm}] / 11.877$.

La dosificación específica del Se (premezcla Sel-Plex) se hizo diario con el alimento matutino. Los caballos fueron alimentados con una dieta a base de 6 kg de heno de avena y 3.5 kg de alimento concentrado (Cuadro 1). Las muestras de cada alimento (0.5 kg de concentrado y 1.0 kg de heno de avena) fueron colectadas cada mes, las cuales fueron conservadas, molidas y mezcladas, elaborando, al final, un pool de cada alimento, envasado en frascos hasta su análisis posterior en el laboratorio.

El suministro de la premezcla de selenio fue de forma individual mezclándose con el concentrado suministrado en la primera comida matutina durante el período septiembre a diciembre de 2017. En la semana uno del mes de septiembre (pre tratamiento), y posteriormente, en las semanas uno y dos (post tratamiento con Se) de octubre, los 40 caballos fueron muestreados para determinar los niveles de minerales en suero, así como los valores de hematocrito; posteriormente fueron muestreados en la primera semana de los meses noviembre y diciembre de 2017; cada semana los caballos fueron monitoreados para evaluar su condición corporal y peso vivo.

Cuadro 1. Aporte nutrimental del análisis químico proximal (g kg^{-1} MS) y contenido mineral promedio (g kg^{-1} y mg kg^{-1}) determinado por espectrofotometría de absorción atómica, practicados en laboratorio al alimento balanceado y forraje suministrados a caballos Santa Gertrudis durante el período de estudio.

Nutrimento	Alimento balanceado	Forraje: Heno de avena
Materia Seca	91.89	90.54
Proteína Cruda	14.34	9.70
Fibra Detergente Neutro	38.60	61.50
Cenizas	11.91	8.41
Macro minerales, % (g kg^{-1} MS)		
Ca	0.15 (1.5)	0.44 (4.4)
P	0.32 (3.2)	0.29 (2.9)
Mg	0.19 (1.9)	0.23 (2.3)
K	0.94 (9.4)	1.30 (13.0)
Na	0.53 (5.3)	0.15 (1.5)
Micro minerales, mg kg^{-1} MS		
Co	0.11	0.04
Cr	0.23	0.27
Cu	2.47	2.50
Fe	264.78	563.20
Mn	60.71	55.50
Mo	0.67	0.05
Zn	16.54	12.62
Se	0.12	0.06

7.2 Análisis de laboratorio

Los análisis proximales de concentrado y heno de avena suministrados a los caballos fueron realizados en el laboratorio de Bromatología del Departamento de Nutrición Animal de la FMVZ de la UAEM, según los protocolos de (AOAC, 1975). La determinación de la fibra detergente neutro se realizó en un equipo ANKON según el método de Van Soest *et al.* (1991).

La determinación de calcio, magnesio, potasio, sodio, cobalto, cromo, manganeso, molibdeno, cobre, hierro y zinc en alimentos y suero se realizó según los métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales de (Fick *et al.*, 1979). Para determinar el fósforo se utilizó el método colorimétrico propuesto por Harris y Popat (1954).

La determinación de selenio se realizó utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica con el sistema de generador de hidruros. El procedimiento para la digestión ácida de las muestras fue como se indica a continuación.

- 1) Se descongelaron las muestras de plasma sanguíneo.
- 2) Con una micro pipeta, se tomó la muestra y se pesó utilizando una balanza analítica 0.5 g, tarando el tubo de digestión.
- 3) Se agregaron 5 ml de agua desionizada y 2.5 ml de ácido nítrico R A 65.4% de pureza, Baker y 1 ml de Peróxido de hidrógeno en solución al 30%. Baker.
- 4) Se colocaron los tubos en el bloque dentro de la campana de extracción a una temperatura aproximada de 175 °C hasta volverse completamente claro el producto de la digestión (se aumentó la temperatura poco a poco hasta un poco antes de sacar burbujas y evitar que el ácido salpicara o se evaporara rápidamente sin digerir la muestra).
- 5) Se aumentó la temperatura a 250 °C por una hora.
- 6) Se dejó enfriar completamente y se colocó el producto de la digestión dentro de matraces de 25 ml y se aforaron con HCl 7 molar.
- 7) Se guardaron en frascos de polietileno para su posterior análisis.

Nota: el HCl se usó con el objetivo de generar hidruros, se preparó HCl a una proporción de 590 ml de HCl concentrado c.b.p, un litro de agua desionizada en un matraz aforado con capacidad de un litro previamente desmineralizado.

e) Cuantificación:

- Para la cuantificación del Selenio se utilizó el espectrofotómetro de absorción atómica con el sistema de generador de hidruros.
- La presión de los gases fue de 50 psi para nitrógeno y de 20 psi para acetileno.
- El flujo de la muestra fue de 8 ml/minuto.
- El flujo del ácido y reductor fue de 1 ml/minuto.
- Se corrió la curva de calibración (2, 4, 6, 8, y 10 ppb).
- Se midieron las absorbancias de las muestras y se interpolaron en la curva de calibración para obtener la concentración de cada una.

7.3 Análisis estadístico

Para la realización del experimento se utilizó un arreglo factorial 2 x 4 (2 niveles de inclusión y 4 meses de muestreo), bajo el siguiente modelo estadístico (Steel *et al.*, 1997): $Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + E_{ijk}$, donde: Y_{ijk} = variable de respuesta de la k-ésima unidad experimental, μ = media general, A_i = efecto del i-ésimo tratamiento (0 y 0.3 mg Se kg⁻¹ MS), B_j = efecto del j-ésimo mes de muestreo (septiembre, octubre, noviembre y diciembre), AB_{ij} = efecto de interacción de tratamiento y mes de muestreo E_{ijk} = error experimental aleatorio.

Los datos fueron analizados con procedimiento mixto (SAS, 2002), con estructura de covarianza utilizada fue TOEP y método de estimación REML. Los caballos Santa Gertrudis fueron considerados sujetos aleatorios. La asignación de literales de las diferencias de las medias de mínimos cuadrados fue realizada con la macro pdmix800.sas con ajuste de Tukey a $P < 0.05$.

8. LÍMITE DE ESPACIO

El estudio experimental de campo se realizó en la Sección Ecuestre del Heroico Colegio Militar, el cual se encuentra situado en el Campo Militar No. 1-C, Tlalpan, Ciudad de México. Posteriormente se realizaron los análisis de laboratorio en el Departamento de Nutrición Animal de la FMVZ y en el laboratorio de Edafología de la Facultad de Ciencias de la UAEM, Campus Universitario “El Cerrillo”, Toluca, México.

9. LÍMITE DE TIEMPO

El estudio se realizó durante los meses de septiembre a diciembre de 2017; período en el cual se suministró el Se orgánico y se hicieron los muestreos correspondientes de sangre para obtener el suero sanguíneo y realizar los análisis de laboratorio.

10. RESULTADOS Y DISCUSION

10.1 Macro minerales

En el Cuadro 2 se presentan las concentraciones medias de macro minerales en el suero sanguíneo de los caballos utilizados en el estudio con y suplemento de Se durante los meses de septiembre a diciembre de 2017.

Cuadro 2. Concentración de macro minerales en suero sanguíneo de caballos Santa Gertrudis (mg dL⁻¹) suplementados con levadura de Se durante el período de septiembre a diciembre de 2017.

Mineral	Tratamiento		EEM ¹	Mes de muestreo				EEM ¹	Efectos ²		
	Con Se	Sin Se		Sept.	Oct.	Nov.	Dic.		Trat	Mes	TratXmes
Ca	15.84	18.32	0.44	11.75	17.60	21.77	16.70	0.57	**	**	ns
P	5.48	4.69	0.39	5.730	4.700	4.280	5.650	0.56	ns	ns	ns
Mg	1.56	2.13	2.81	1.32	1.97	2.50	1.45	0.13	**	**	**
K	4.79	7.51	2.72	7.98	3.24	3.40	2.86	4.45	ns	ns	ns
Na	443.2	349.8	20.8	661.1	307.6	339.2	366.8	35.4	**	**	**

¹EEM, error estándar de la media.

²*=(P<0.05), **=(P<0.01), ns=No significativo (P>0.05).

Valor de referencia (mg dL⁻¹): Ca, 10-13; P, 2.7-5.2; Mg, 1.8-3; K, 8.5-15; Na, 298-328 (Puls, 1988).

10.1.1 Calcio

Los valores medios de Ca en suero no fueron afectados (P<0.05) por efecto del tratamiento con Se, y mostraron diferencia (P<0.05) entre los meses del estudio; en el muestreo basal (septiembre) están dentro del rango normal según (Puls, 1988); sin embargo, en los muestreos de los meses posteriores, la concentración de calcio en suero aumentó, observándose moderada hipercalcemia en los caballos. Lo anterior coincide con los valores de Ca encontrados en el heno de avena (0.44% de la MS), pero no con el concentrado (0.15% de la MS) suministrados a los caballos durante los meses del estudio;

dichas concentraciones de Ca en las cantidades de los alimentos consumidos cubrieron los requerimientos de calcio a través de los meses en que se realizó el estudio (NRC, 2007).

La concentración de Ca sanguíneo está regulada por una serie de mecanismos hormonales que incluyen la acción de las hormonas paratiroidea, los estrógenos y la calcitonina, entre otras. Si el calcio sanguíneo disminuye rápidamente es movilizado el Ca de huesos para recuperar el equilibrio (Cunha, 1991). La consecuencia principal de la carencia de Ca en el organismo es sobre el esqueleto. En los potros en desarrollo la deficiencia de calcio produce raquitismo, caracterizado por una deficiente mineralización del tejido óseo, problemas de articulaciones y malformaciones de los huesos largos; en equinos maduros, se produce osteomalacia, en ambos casos se produce reblandecimiento de los huesos y con ello la deformación de estos.

Por otro lado, la ingesta de Ca en cantidad mayor a los requerimientos de los equinos puede derivar en anomalías óseas que pueden ser consideradas como efectos de toxicidad (Church *et al.*, 2002; NRC, 2007). Además, el exceso de Ca puede generar laminaciones en huesos e interferir en la absorción de P, Mn, Zn, Fe y Cu (Martin, 2016).

10.1.2 Fósforo

Los niveles séricos de fósforo en los equinos muestreados en el presente estudio durante los meses de octubre y noviembre están dentro del rango normal y aunque no muestran diferencias ($P > 0.05$) entre los tratamientos con Se, ni cambios significativos ($P > 0.05$) a través de los meses de muestreo, y tampoco hubo efecto de la interacción del tratamiento con el mes de muestreo, si muestran un exceso ligero en el suero durante los meses de septiembre y diciembre, esto con base en los niveles de referencia considerados como normales según (Puls, 1988; NRC, 2005). Lo anterior coincide con los valores medios de P observados en los alimentos consumidos por los caballos, es decir tanto el concentrado (0.32 %) como el heno de avena (0.29%) tuvieron concentraciones de P que cubren los

requerimientos de este mineral para caballos adultos con ejercicio moderado (0.21%) e intenso (0.29%) (NRC, 2007).

Según el NRC (2005), una concentración de fósforo en suero sanguíneo de equinos de 1.5 a 3 mg dL⁻¹ es deficiente, y de 3.5 a 5.0 mg dL⁻¹ es adecuada. Church *et al.* (2002), mencionan que un signo frecuente de la carencia de fósforo en el animal joven es el raquitismo. La excreción de fósforo es mayor cuando la ingestión de calcio es alta, esta excreción se manifiesta como calcificación reducida y, al avanzar la carencia, hay pérdida del apetito y con ello retraso en el crecimiento, no obstante, la manifestación de apetito excesivo en el caballo los lleva a desórdenes alimenticios como la ingesta de madera (NRC, 2007).

Por el contrario, el exceso de fósforo se manifiesta en una osteodistrofia fibrosa debido a una reabsorción ósea excesiva, este trastorno nutricional es dado por exceso de fósforo en la dieta, cuyos signos son cojera y fracturas de huesos largos; en los equinos la dieta rica en fosfato disminuye la absorción intestinal de calcio, el nivel de calcio plasmático y la retención de este mineral (NRC, 2007). El hiperparatiroidismo secundario nutricional (osteodistrofia fibrosa) por exceso de fósforo en la dieta, con nivel adecuado de Ca en la dieta sea, predispone a la presencia de cojera y fracturas de los huesos largos; en los equinos la dieta rica en fosfatos reduce la absorción intestinal de Ca, el nivel de Ca plasmático y su retención (Sánchez, 2011).

Asimismo, en toda dieta de caballos de distinta edad, etapa de producción e intensidad de ejercicio, es importante mantener una relación Ca:P en 1.5-2:1 (niveles inferiores a una relación Ca:P de 1.1:1 pueden producir malformaciones óseas, epifisitis y osteofibrosis) (Martin, 2016). En el presente estudio la relación Ca:P del concentrado fue de 1:2.1, y en el heno de avena de 1.5:1, lo cual contribuyó a una mejor relación Ca:P en la dieta debido al mayor consumo de forraje y menor de concentrado; sin embargo, la relación Ca:P en el suero sanguíneo de los caballos sólo fue adecuada (2.05:1) en el mes de septiembre, en el resto de los meses del estudio la relación Ca:P fue mucho mayor de 2:1 debido al exceso de Ca observado en el suero de los caballos.

10.1.3 Magnesio

El nivel de Mg en el suero sanguíneo de los caballos Santa Gertrudis mostró diferencias por efecto del tratamiento con Se, mes de muestreo y de la interacción tratamiento con Se y mes de muestreo ($P < 0.05$); los caballos con Se tuvieron menor concentración de Mg, asimismo, durante los meses de octubre y diciembre la concentración de Mg fue menor, incluso deficiente, y fuera del rango considerado normal (Puls, 1988; ARC, 1980; NRC, 1989). La deficiencia de Mg anteriormente mencionada no corresponde con los valores de Mg encontrados en el concentrado y forraje (0.19 y 0.23% de la MS), ya que estos valores cubren los requerimientos de caballos con ejercicio moderado a intenso (0.015 a 0.12% MS) indicados en el (NRC, 2007), sin embargo, como menciona Martín (2016) el exceso de Ca puede reducir la absorción del Mg, por lo tanto, esto pudo haber ocurrido en el presente estudio.

El 60% del Mg del organismo está asociado con los huesos (NRC, 2005; Martín, 2016), su importancia fisiológica radica en que es un activador enzimático en el proceso de la contracción muscular. Por lo tanto, una deficiencia severa de Mg causa debilidad muscular, arritmias ventriculares, ataxia y coma. La deficiencia subclínica aumenta la respuesta inflamatoria sistémica, causa arritmias cardíacas e hipocalcemia. Se han indicado bajas concentraciones séricas de Mg en el 49 % de los equinos hospitalizados, en el 54 % de los equinos con cólico y en el 78 % con enterocolitis (NRC, 2007).

Para un equino adulto de 500 kg en mantenimiento, el requerimiento de Mg es de 7.5 g por día, pero los requerimientos aumentan en la fase de crecimiento y con el ejercicio intenso (Martín, 2016); asimismo, aunque la digestibilidad del Mg es media, 40 %, este valor se reduce por el exceso de P y Ca en la dieta (Martín, 2016).

10.1.4 Potasio

No se observó efecto ($P > 0.05$) del tratamiento con Se, mes de muestreo o de la interacción, tratamiento con Se con Mes, en la concentración de K en el

suero sanguíneo de los caballos. Sin embargo, la concentración basal (septiembre) de K en los caballos mostró deficiencia marginal (Puls, 1988), pero en los demás meses la deficiencia fue total y las concentraciones de K bajaron de forma considerable; lo anterior, de acuerdo con Vázquez-Goyoaga *et al.* (2017), puede ser debido problemas de miositis, miopatía y/o rbdomiolisis, derivado por el ejercicio intenso que llevaron a cabo los caballos durante el período de estudio, ya que la actividad física de estos ejemplares es de moderada a intensa. Lo anterior no coincide con los valores de K observados en los alimentos suministrados a los caballos, ya que ambos, heno de avena y concentrado, tuvieron niveles de K que cubren el requerimiento de caballos en trabajo físico de moderado a intenso, indicado por el (NRC, 2007).

El nivel adecuado de K, según el ARC (1980) y el NRC (1989), es de 5 a 22 mg dL⁻¹, esto se lo logra cuando se garantiza un aporte dietario de K a los caballos con suministro de cantidades adecuadas de forrajes (más de 1% del peso vivo) (Martin, 2016). El contenido de potasio en los pastos es alto, así que su ingestión es mayor que otros minerales. Excepciones se presentan en plantas maduras, durante la época seca, donde el K puede ser bajo (NRC, 2005; NRC, 2007), así como en los granos de cereales fermentados, los cuales son deficientes en minerales solubles que incluyen al K.

En caso de ser necesario complementar el K con cloruro de potasio o carbonato de potasio. La concentración óptima de K en la dieta es de 0.4-0.5% de la MS, pero los requerimientos aumentan con el crecimiento y trabajo físico de moderado a intenso (Martin, 2016), dado que el tejido muscular contiene el mayor contenido de K en el organismo, siendo 56 % aproximadamente (Cunha, 1991).

10.1.5 Sodio

Se observó efecto ($P < 0.05$) de tratamiento con Se, mes de muestreo y de la interacción, tratamiento de Se con mes de muestreo, en la concentración de Na en el suero sanguíneo de los caballos. El nivel basal de sodio en suero está excedido y se encuentra fuera del rango de referencia (Puls, 1988); además fue mayor a las concentraciones observadas en los otros meses de muestreo ($P < 0.05$) las cuales,

excepto octubre, están ligeramente excedidas del rango de referencia normal; asimismo, el nivel menor se observó en el mes de octubre. Debido a que el Na es el catión extracelular más importante, contribuye a regular el equilibrio ácido-básico y la presión osmótica; así, su concentración corporal se conserva por medio de la hormona aldosterona, producida en las glándulas adrenales, cuya función es reabsorber el sodio a nivel renal (Church *et al.*, 2002). El contenido de Na del concentrado consumido por los caballos (0.53% de la MS) si cubrió el requerimiento de caballos en ejercicio de moderado a intenso (0.18 a 0.25% de la MS); en contraste, el heno de avena no fue suficiente, sólo aportó 0.15% de la MS.

10.2 Micro minerales

Las concentraciones de micro minerales en el suero sanguíneo de los caballos muestreados durante los cuatro meses del estudio se presentan en el Cuadro 3.

10.2.1 Cobre

Hubo efecto del mes de muestreo y de la interacción ($P < 0.05$) de tratamiento de Se con el mes de muestreo en la concentración sérica de cobre en los caballos. Cabe destacar que los resultados obtenidos en la concentración sérica de cobre indican deficiencia de este micro mineral, en ambos grupos de caballos con y sin Se, durante todos los meses del estudio, según los valores de referencia indicados por (Puls, 1988; NRC, 1989; NRC, 2007). La deficiencia de Cu es el reflejo de los bajos valores de este micro mineral encontrados tanto en el concentrado ($2.47 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MS}$) y heno de avena ($2.5 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MS}$), los cuales no cubren los requerimientos de Cu de caballos con ejercicio moderado o intenso (11.25 y $12.50 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MS}$) (NRC, 2007).

Cuadro 3. Concentración de micro minerales en suero sanguíneo de caballos Santa Gertrudis (mcg mL⁻¹) suplementados con levadura de Se durante el período de septiembre-diciembre de 2017.

Mineral	Tratamiento		EEM ¹	Mes de muestreo				EEM ¹	Efectos ²		
	Con Se	Sin Se		Sept.	Oct.	Nov.	Dic.		Trat	Mes	Trat X mes
Cu	0.11	0.12	0.01	0.20	0.07	0.15	0.06	0.02	ns	**	**
Fe	2.80	3.37	0.23	1.53	2.80	5.11	3.20	0.34	ns	**	ns
Zn	0.64	0.70	0.04	0.44	0.54	1.04	0.79	0.11	ns	**	**
Se	0.14	0.10	0.01	0.09	0.11	0.10	0.12	0.01	ns	ns	ns
Co	0.03	0.03	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.01	ns	**	**
Cr	0.07	0.07	0.01	0.05	0.07	0.09	0.07	0.01	ns	ns	ns
Mn	1.11	2.25	1.01	0.57	1.28	1.71	3.59	0.95	**	**	**
Mo	0.04	0.04	0.01	0.04	0.04	0.04	0.02	0.01	ns	**	**

¹EEM, error estándar de la media.

²*=(P<0.05), **=(P<0.01), ns=No significativo (P>0.05).

Valor de referencia (mcg mL⁻¹): Cu, 0.85-2.0; Fe, 1.0-1.5; Zn, 0.6-1.7; Co, 0.10; Cr, 0.006-0.066; Mn, 0.5-2.4; Mo, 0.05-50.0 (Puls, 1988; NRC, 1989) y Se, 0.05-0.26 (Carmel *et al.*, 1989; Crisman *et al.*, 1994; Puls, 1988; NRC, 1989; 2007).

La deficiencia de cobre causa diversos signos entre los que se encuentra la anemia, el crecimiento deficiente de los huesos, la infertilidad y la despigmentación del pelo, así como ciertas afecciones gastrointestinales hasta lesiones en el sistema nervioso central (NRC, 2005). En el presente estudio los caballos no presentaron anemia con valores de hematocrito normales.

El cobre favorece la movilización del hierro, por lo tanto, es considerado un factor anti anémico que actúa en la síntesis de hemoglobina y la maduración de los glóbulos rojos de la sangre y en la preservación de la integridad de las mitocondrias (Martin, 2016). Al respecto, los valores de Fe en el suero sanguíneo de los caballos estuvieron por arriba del rango de referencia. Además, el aporte de Fe en los alimentos suministrados estuvo por arriba de lo requerido por los caballos adultos con ejercicio moderado e intenso, por lo que pudo influir en una menor absorción de Cu en el intestino delgado del caballo y producir deficiencia de este micro mineral.

10.2.2 Hierro

Las concentraciones séricas de Fe en los caballos fueron diferentes entre los meses de muestreo ($P < 0.05$); se observa que solamente en el muestreo inicial (septiembre) el nivel de Fe está dentro del rango de referencia, en los meses restantes, el nivel de Fe excedió los valores de referencia indicados por el (NRC, 1989).

La deficiencia de Fe en los caballos no es muy común, excepto en casos donde hay pérdida importante de sangre por parasitismo severo o por traumatismos graves (NRC, 2005; NRC, 2007). En general, los alimentos suministrados proveen el Fe suficiente para cubrir los requerimientos de este micro mineral. El requerimiento del caballo varía de 40 a 50 mg kg⁻¹ MS (Martin, 2016; NRC, 2007).

Por otro lado, el exceso de hierro puede producir toxicidad la cual se manifiesta por la interacción antagónica con otros minerales; el consumo prolongado de Fe en exceso puede causar deficiencia de cobre; se han observado bajas concentraciones de Cu en suero e hígado con consumos de Fe de 890 mg kg⁻¹ MS. En el presente estudio, los valores de Fe aportados por el concentrado y heno de avena fueron del orden de 269.8 y 563 mg kg⁻¹ MS, por lo tanto, si pueden haber influido en la deficiencia de Cu de los caballos. La intoxicación por Fe causa disfunción hepática, con signos de letargia, ictericia, trombocitopenia y concentración elevada de fosfatasa alcalina (NRC, 2005; NRC, 2007).

10.2.3 Zinc

Se observó efecto del mes de muestreo y de la interacción ($P < 0.05$) sobre los niveles de zinc en el suero sanguíneo de los caballos; asimismo, las concentraciones del este micro mineral, en ambos grupos de caballos y en los cuatro meses del estudio, mostraron deficiencia marginal con valores inferiores a los niveles de referencia indicados por Puls (1988). La deficiencia de Zn observada en el suero sanguíneo de los caballos puede ser debido, según el NRC (2007), a los bajos valores aportados por los alimentos suministrados durante el

período del estudio pues el concentrado sólo aportó 16.5 mg y el heno de avena 12.6 mg kg⁻¹ MS, lo cual no cubre el requerimiento de caballos con actividad física moderada (45 mg kg⁻¹ MS) o intensa (50 mg kg⁻¹).

El mayor contenido de zinc está en órganos como el iris y coroides del ojo, en próstata y en menor cantidad en piel, hueso, músculo e hígado; las menores concentraciones están en sangre, leche, cerebro y pulmones (NRC, 1989, NRC, 2007). La deficiencia de Zn en las especies pecuarias, incluyendo a los caballos, se manifiesta con disminución del apetito y menor tasa de crecimiento en animales jóvenes, causa lesiones en piel y estos signos se asocian con la menor concentración de Zn en la sangre (Cunha, 1991), sin embargo, en el presente estudio, aunque los niveles de Zn en suero sanguíneo están deficientes, no se observaron problemas en la piel o pelo de los caballos.

Según el (NRC, 2007) el requerimiento de Zn en la dieta de los caballos es de 45 a 50 mg kg⁻¹ MS; los complementos de Zn utilizados son el óxido de zinc o sulfato de zinc, como fuente inorgánica con mayor disponibilidad de Zn que el contenido en gramíneas o leguminosas (Frape, 2010). Estudios realizados en la Universidad de la Plata en Argentina en 2018, diagnosticaron deficiencia de Zn debida a una alimentación deficiente del mismo en la dieta.

10.2.4 Selenio

No se observó efecto del mes de muestreo, tratamiento con Se o la interacción ($P < 0.05$) sobre los niveles de Se en el suero sanguíneo de los caballos; asimismo, las concentraciones del este micro mineral, en ambos grupos de caballos, y durante los cuatro meses del estudio, mostraron deficiencia marginal o total, con valores inferiores a los de referencia indicados por (Puls, 1988; NRC, 1989; 2007).

Los caballos tratados 0.3 ppm de Se orgánico tuvieron una concentración sérica de Se numéricamente mayor (0.14 mcg mL⁻¹) que los caballos no complementados con Se orgánico (0.10 mcg mL⁻¹), es decir, aún con el suministro de 0.3 mg Se kg⁻¹ MS, adicional al recibido en la dieta base de concentrado más

heno de avena ($0.18 \text{ mg Se kg}^{-1} \text{ MS}$; Cuadro 1) los caballos tratados tuvieron deficiencia marginal de Se ($<0.17 \text{ mcg mL}^{-1}$). Se ha indicado que los caballos con trabajo físico de moderado a intenso y bajo estrés tienen requerimientos de Se mayores, posiblemente asociado a un mayor desgaste y en consecuencia mayor estrés oxidativo, lo que a su vez demanda mayor actividad de la enzima glutatión peroxidasa, aumentando así el requerimiento de Se. En el presente estudio, los caballos muestreados realizaron ejercicio físico diariamente, y, dos veces al año, previo a los desfiles gubernamentales conmemorativos de septiembre y noviembre, realizaron dos prácticas, lo cual pudo aumentar notablemente sus requerimientos de Se por mayor estrés oxidativo; por lo tanto, es necesario continuar realizando pruebas de complementación con diferentes dosis de Se en la dieta, para determinar con mayor exactitud, las dosis más efectivas para el desempeño de salud y rendimiento.

El requerimiento mínimo de Se en la dieta de caballos es de 0.1-0.2 ppm (NRC, 1989; 2007), ésta concentración teóricamente debe mantener una concentración en suero sanguíneo de 0.17 a 0.25 mcg mL^{-1} ; este valor es considerado adecuado para las funciones de mantenimiento, producción y salud; por otro lado, se considera deficiencia de Se si su valor sérico está entre $0.09\text{-}0.16 \text{ mcg mL}^{-1}$; en tanto que las concentraciones séricas que indican toxicidad de Se son de $1.10\text{-}6.36 \text{ mcg mL}^{-1}$ (Puls, 1988; NRC, 1989; NRC, 2007).

10.2.5 Cobalto

Hubo efecto del mes de muestreo y de la interacción ($P < 0.05$) sobre los niveles de Co en el suero sanguíneo de los caballos; asimismo, las concentraciones del este micro mineral, en ambos grupos de caballos, y durante los cuatro meses del estudio, mostraron deficiencia, con valores inferiores a los de referencia indicados por (Puls, 1988); de acuerdo con (Espinoza, 2010) esto sería indicador de una mala formación de los glóbulos rojos, reflejándose en valores bajos de hematocrito en los caballos, sin embargo, en el presente estudio los valores de hematocrito en la sangre de los caballos estuvieron dentro del rango

normal. El contenido de Co obtenido en el alimento concentrado ($0.11 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MS}$) si cubre el requisito de Co de caballos adultos con ejercicio moderado a intenso ($0.06 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MS}$), en contraste, el heno de avena presentó un valor medio por abajo del requerimiento ($0.04 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MS}$). Por lo tanto, esto último, puede explicar la deficiencia de Co observada en el suero de los caballos durante los cuatro meses del estudio (NRC, 2007).

La microflora del colon y ciego de los caballos usa el Co de la dieta para sintetizar la vitamina B₁₂, y el Co, en forma de vitamina B₁₂, interactúa con el Fe y Cu en la hematopoyesis (NRC, 2007). Por lo tanto, una deficiencia de Co podría resultar en deficiencia de vitamina B₁₂; sin embargo, no se conocen casos por deficiencia natural de Co o vitamina B₁₂, o experimentalmente inducidos en caballos (NRC, 2005). Aunque no se han estudiado de forma específica los requerimientos de Co en caballos, el NRC (1989) indicó un mínimo de $0.1 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MS}$, sin embargo, considera que los caballos son más tolerantes a las bajas concentraciones de Co que los rumiantes, la cantidad mínima recomendada en la dieta es de $0.05 \text{ mg de Co kg}^{-1} \text{ MS}$, bajo condiciones de consumo normal de forraje, el cual contiene entre 0.05 a $0.6 \text{ mg de Co kg}^{-1} \text{ MS}$ (NRC, 2007).

10.2.6 Cromo

Los niveles séricos de cromo obtenidos en el presente estudio no fueron afectados ($P > 0.05$) por los factores de estudio; asimismo, se observó que se encuentran dentro del rango de los valores de referencia que indica (Puls, 1988). El cromo es importante en el metabolismo de carbohidratos y lípidos, actúa potencializando la acción de la insulina para facilitar el uso de la glucosa, y es considerado un nutriente esencial en los humanos (Mertz, 1993). En caballos no se han encontrado evidencias de deficiencia de cromo; la carencia de cromo produce síntomas asociados con la diabetes y enfermedad cardiovascular en humanos adultos (Vincent, 1999). Derivado de datos en otras especies, la concentración máxima tolerable de cromo en la dieta de caballos se ubicó en

3,000 mg kg⁻¹ MS de las formas óxidos de cromo trivalente y de 100 mg kg⁻¹ MS de cloruros de cromo trivalentes (NRC, 2005).

Asimismo, la información es insuficiente para determinar el requerimiento de cromo para caballos; a partir del consumo diario adecuado y seguro recomendado para humanos el cual es de 50 a 200 mcg/día (Anderson y Kozlovsky, 1985), Jackson (1997) sugirió que el requerimiento de cromo puede ser mayor para caballos con ejercicio que para caballos sedentarios. Pagan *et al.* (1995) indicó que caballos en ejercicio complementados con 5 mg de cromo derivado de levadura rica en cromo tuvieron menor concentración de glucosa en plasma durante varios estados de ejercicio de una prueba de ejercicio estandarizado. La complementación de Cr-L-Metionina a yeguas adultas por cuatro semanas no alteró la mayoría de los parámetros inmunes (Dimock *et al.*, 1999). En el presente estudio, los valores de Cr aportados por el alimento concentrado y el heno de avena (0.23 y 0.27 mg kg⁻¹ MS) cubren los requerimientos de Cr de caballos adultos con ejercicio moderado a intenso (0.25 mg kg⁻¹ MS) (NRC, 2007).

10.2.7 Manganeso

Los valores de Mg en suero sanguíneo muestran diferencia entre los caballos suplementados con Se, así como entre los meses de muestreo y también por efecto de la interacción (P<0.05); sin embargo, solamente en el mes de septiembre (muestreo inicial) se observó deficiencia marginal, mientras que en el mes de diciembre se observó exceso con respecto a los valores de referencia indicados por (Puls, 1988). El manganeso es esencial para el metabolismo de lípidos y carbohidratos, así como para la síntesis de condroitín sulfato, necesario para la formación de cartílago (NRC, 2007). La deficiencia de Mn en otras especies pecuarias produce desarrollo anormal del cartílago, causado por una fallida síntesis de condroitín sulfato, resultando en malformaciones óseas. Ha sido sugerido, pero no probado que la deficiencia de Mn puede estar asociada con anomalías y malformaciones congénitas en potrillos recién nacidos (Underwood, 1977).

El Mn está entre los elementos traza menos tóxico y no hay información de intoxicación por Mn en caballos (Schryver, 1990). Sin embargo, grandes cantidades de Mn en la dieta de los caballos pueden alterar la absorción del fósforo. El NRC (2005) sugirió que 400 ppm de Mn en la dieta puede ser la máxima cantidad tolerable basado en extrapolaciones inter especie.

La mayoría de los forrajes contienen de 40 a 140 mg de Mn kg⁻¹ MS, y la mayoría de los concentrados (excepto el maíz) contienen de 15 a 45 mg de Mn kg⁻¹ MS, en tanto que los requerimientos de Mn para caballos no se han establecido firmemente; con base en datos de otras especies, 40 a 50 mg de Mn kg⁻¹ MS (Rojas *et al.*, 1965) fue considerado adecuado por el NRC (1989; 2007). En el presente estudio, el alimento concentrado aportó 60.7 y el heno de avena 55.5 mg de Mn kg⁻¹ MS, de esta forma se comprueba que ambas fuentes cubren el requerimiento de caballos en actividad física moderada e intensa (45 y 50 mg de Mn kg⁻¹ MS) (NRC, 2007).

10.2.8 Molibdeno

Respecto con las concentraciones séricas de este micro mineral, estas fueron diferentes ($P < 0.05$) entre los meses de muestreo y también hubo efecto ($P < 0.05$) de la interacción del tratamiento de Se con el mes de muestreo. Además, los niveles de este mineral mostraron deficiencia en el suero sanguíneo de los caballos durante todos los meses del estudio (Puls, 1988). Sin embargo, los niveles de Mo en el alimento concentrado (0.67 mg kg⁻¹ MS) si cubrieron los requerimientos de caballos adultos (0.2 mg kg⁻¹ MS) extrapolados de estimaciones en otras especies pecuarias; en contraste, el heno de avena no tuvo un contenido adecuado, solamente aportó 0.05 mg kg⁻¹ MS. La deficiencia de Mo puede causar diarrea e incoordinación motora, pero el interés nutricional inicial se centró en sus efectos sobre el metabolismo del Cu en rumiantes (Underwood, 1977). El Mo es esencial porque la enzima flavoproteína xantino oxidasa contiene a este micro elemento y su actividad depende de este metal (Underwood y Suttle, 1999).

10.3 Hematocrito y cambio de peso vivo

En el Cuadro 4 se describen los resultados del efecto del tratamiento con Se aplicados a los caballos durante el período comprendido en el estudio.

Cuadro 4. Valores medios de las variables hematocrito (%) y cambio de peso vivo (kg) de caballos Santa Gertrudis suplementados con levadura de selenio en el periodo septiembre-diciembre de 2017.

Variable	Tratamiento		EEM ¹	Mes de muestreo				EEM ¹	Efectos		
	Con Se	Sin Se		Sep.	Oct.	Nov.	Dic.		Trat	Mes	TratXmes
Hematocrito	45.2	45.9	0.43	44.9	45.9	46.4	44.9	0.51	ns	ns	ns
Peso vivo	542.9	541.7	8.30	530.8	536.2	548.8	553.5	6.11	ns	**	ns

¹EEM, error estándar de la media.

²*=(P<0.05), **=(P<0.01), ns=No significativo (P>0.05).

Valor normal (%): (Puls, 1088; NRC, 1989).

Respecto a la variable hematocrito, los valores medios no fueron afectados por ninguno de los factores de análisis o su interacción (P>0.05); dichos valores están dentro del rango normal de los valores de referencia (Puls, 1988).

El hematocrito es el porcentaje de glóbulos rojos en sangre; normalmente la cantidad de glóbulos rojos es de entre 6 a 8 millones por mL, en comparación con los glóbulos blancos que es de entre 6 a 8 mil por mL. Se utiliza el hematocrito para estudiar casos de deshidratación y anemia. Los niveles óptimos rondan el 40%. Si los niveles están por debajo de 35% o por encima de 45%, indica que hay algún problema (Snow *et al.*, 1983). Un caballo puede estar anémico si el valor del hematocrito está por encima del normal y no aumenta proporcionalmente el número de hematíes (glóbulos rojos) por la contracción del bazo. Este análisis está afectado si el caballo está nervioso cuando se saca la muestra de sangre y también sube si el caballo está subiéndose de forma física. Un valor por encima del 40% debe estar justificado por un trabajo fuerte. Si no es que el caballo estaba excitado cuando se tomó la muestra. Esto puede complicar la interpretación del análisis ya que la deshidratación también es común en caballos que están en trabajo fuerte para subir su nivel de forma física.

Existe una alta correlación para la actividad sanguínea de GSH-Px con los niveles de Se en sangre, $r=0.94$ ($P<0.001$) en los equinos, esto permite establecer el balance y concentración de Se en sangre a partir de la actividad de GSH-Px, con una aproximación confiable del estado metabólico nutricional de Se en el caballo; la actividad de la GSH-Px refleja el consumo de Se, entre 3 a 4 meses anteriores a su determinación en sangre, debido a que el Se se incorpora al eritrocito durante la eritropoyesis (Tapia-Berly, 2013).

Con relación al cambio de peso vivo, este no fue afectado por los tratamientos con Se ($P>0.05$), sin embargo, si hubo efecto ($P<0.05$) del mes de medición, observándose que los caballos aumentaron en promedio 22.7 kg de peso de septiembre (530.8 kg) a diciembre (553.5 kg).

Soriano-Tolsa y Carlos (2010) indicaron que el selenio es parte integral del sistema antioxidante de caballo lo que permite la supervivencia en un mismo ambiente rico en oxígeno donde los radicales libres pueden dañar a las moléculas biológicas. La relación entre el nivel de selenio y la inmunidad en el organismo es importante, tanto en el caso de la yegua y el potrillo, como en los caballos de alto rendimiento, los cuales, como en este caso, están con alto nivel de estrés, aumentando su requerimiento de Se, el cual interviene en la hemodinámica del musculo esquelético y cardiaco, y ayuda a mantener su homeostasis, el transporte de oxígeno y la integridad de los glóbulos rojos al actuar como antioxidante.

11. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente estudio, se puede concluir lo siguiente.

La dieta suministrada a los caballos, alimento concentrado y heno de avena, de acuerdo con el análisis realizado, aportó cantidades suficientes para cubrir los requerimientos de Ca, P, Mg, K y Na; sin embargo, en el suero sanguíneo de los caballos la relación Ca:P no fue adecuada, observando exceso de Ca en ambos grupos de caballos, más notable durante octubre a diciembre; deficiencia de Mg en los caballos con Se, más notable durante septiembre y diciembre; asimismo, hubo deficiencia de K en ambos grupos de caballos, principalmente durante octubre a diciembre; y exceso de Na en caballos con y sin Se, durante septiembre, noviembre y diciembre.

Con respecto a los micro minerales, la dieta suministrada no aportó suficientes cantidades de Cu, Zn y Se para cubrir los requerimientos de los caballos, esto se manifestó con deficiencia de estos micro minerales en ambos grupos de caballos durante los cuatro meses del estudio. Asimismo, la dieta aportó una concentración de Fe mayor al requerimiento de los caballos, manifestándose con excesos en el suero de ambos grupos de caballos, principalmente durante los meses de octubre a diciembre.

En ambos grupos de caballos con y sin Se, durante los cuatro meses del estudio los valores de hematocrito fueron adecuados, según los valores de referencia.

Respecto al peso vivo, ambos grupos de caballos, con y sin Se, mantuvieron un peso adecuado, por arriba de los 540 kg, con incremento de peso del mes de septiembre a diciembre que comprendió el estudio.

12. LITERATURA CITADA

- Anderson, R.A., and Kozlowski, A.S. 1985. Chromium intake, absorption and excretion of subjects consuming self-selected diets. *Am. J. of Clin. Nutr.* 41:571-577.
- AOAC. 1975. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemist. 2nd ed. Wisconsin U.S.A.
- ARC, 1980. Agricultural Research Council. Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Commonwealth Agricultural Bureau. Farm Ham Royal. England. U.K.
- Avellini, L., E. Chiaradia, and A. Gaiti. 1999. Effect of exercise training, Se and vitamin E on some free radical scavengers in horses (*Equus caballus*). *Comp. Biochem. Physiol. Part B.* 123:147–154.
- Baalsrud, K. J., and G. Overnes. 1986. Influence of vitamin E and Se supplement of antibody production in horses. *Equine Vet. J.* 18:472-474.
- Biotecap, SA de CV. 2011. Importancia del Selenio en Levadura y Vitamina E en la Función Reproductiva de Yeguas, Área de especialidades & caballos, México.
- Brady, P.S., P.K. Ku, and D.E. Ullrey. 1978. Lack of effect of Se supplementation on response of the equine erythrocyte glutathione system and plasma enzymes to exercise. *J. Anim. Sci.* 47:492-496.
- Calamari, L., A. Ferrari, and G. Bertin. 2014. Effect of selenium source and dose on selenium status of mature horses. *American Society of Animal Science.* 87:167-178.
- Carmel, D.K., M.V. Crisman, W.B. Ley, M.H. Irby and G.H. Edwards. 1990. A survey of whole blood selenium concentrations of horses in Maryland. *Cornell Vet.* 80:251-258.
- Carroll, C.L. and P.J. Huntington. 1988. Body condition scoring and weight estimation of horses. *Equine Vet J.* 20 (1): 21-45.

- Crisman, M.V., D.K. Carmel, P. Lessard and W.B. Ley. A survey of whole blood selenium concentrations of horses in Virginia and Maryland. *J. Equine Vet. Sci.* 5:256-261.
- Cunha, T.J. 1991. *Horse Feeding and Nutrition*. 2^a ed. Academic Press. U.S.A.
- De Moffarts, B. & Kirschvink, N. 2005. Effect of oral antioxidant supplementation on blood antioxidant status in trained thoroughbred horses. *The Veterinary Journal*. 169:65-74.
- Deagen, J. T., J. A. Butler, M. A. Beilstein, and P. D. Whanger. 1987. Effects of dietary selenite, selenocysteine and selenomethionine on selenocysteine lyase and glutathione peroxidase activities and on Se levels in rat tissues. *J. Nutr.* 117:91-98.
- Dominguez-Vara, I.A. & Sanchez-Malvaez, E. 2016. Mineral status and interrelationship in soil, forage and blood serum of horses in the rainy and dry season. *J Equine Vet Sci.* 49:101-107.
- Dimock, A.N., Ralston, S. L., Malinowsky, K., and Horohob, D.W. 1999. The effect of supplemental dietary chromium on the immune status of geriatric mares. In: *Proc. 16th Equine Nutr. Physiol.Soc. Symp.*, Raleigh, N.C.USA. pp. 10-11.
- Dorese Caballero F.J. 2013. *Aproximación al diagnóstico y epidemiología de la anemia en los équidos de Gran Canaria*. Doctorado en Medicina Clínica y Sanidad Animal. Universidad de las Palmas de Gran Canaria.
- Church, D.C., Pond, W.G., and Pond, K.R. 2002. *Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales*. 2^a ed. Limusa. México.
- Espinoza, J. 2010. Cobalto y su función en el cuerpo. www.microyoligoelementosinfonutricional.blogspot.com/2010/elcobaltoysufuncionenelcuerpo.html.
- Fick, K. R., Mc Dowell, L. R., Wilkinson, N. S., Funk, D. J., Conrad J. H, and Valdivia R. 1979. *Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales*. Departamento de Ciencia Animal. Universidad de Florida, U.S.A.

- Figuroa-García, M.C. 1997. Interrelación del hierro, selenio y zinc en sangre y pelo de caballos con el tiempo de recuperación cardiaca después del ejercicio. Laboratorio de toxicología, departamento de nutrición, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de México, Distrito Federal.
- Frape, D. 2010. Equine Nutrition and Feeding. 4^a ed. Wiley – Blackwell. U.S.A.
- Harris, W. and Popat, D. 1954. Determination of the phosphorus content of lipids. Am. Oil. Chem. Soc. J. 31:124.
- <https://eliasnutri.files.wordpress.com/2012/04/minerales-2012-i-modo-de-compatibilidad.pdf>
- Jackson, S.G. 1997. Trace minerals for the performance horses: known biochemical roles and estimates of requirements. Iris Vet. J. 50:668-674.
- Janicki, K. M., L. M. Lawrence, T. Barnes, and C. I. O'Connor. 2000. The effect of dietary Se source and level on broodmares and their foals. J. Anim. Sci. 78(Suppl. 1):172. (Abstr.).
- Janicki, K. M., L. M. Lawrence, T. Barnes, and C. J. Stine. 2001. The effect of dietary Se source and level on Se concentration, glutathione peroxidase activity, and influenza titers in broodmares and their foals. Pp. 43-44, in Proc. 17th ENPS Symp., Lexington, KY.
- Knight, D. A., and W. J. Tyznik. 1990. The effect of dietary Se on humoral immunocompetence of ponies. J. Anim. Sci. 68:1311-1317.
- Mahan, D. C., T. R. Cline, and B. Richert. 1999. Effects of dietary levels of Se-enriched yeast and sodium selenite as Se sources fed to growing-finishing pigs on performance, tissue Se, serum glutathione peroxidase activity, carcass characteristics, and loin quality. J. Anim. Sci. 77:2172-2179.
- Martin, S. 2016. Perfil mineral del caballo de polo en reposo y post-ejercicio en relación a su alimentación [en línea]. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina. Disponible en:

<http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/perfil-mineral-caballo-polo-reposo.pdf>

- Mertz, W. 1993. Chromium in human nutrition: A review. *J. of Nutrition.* 123:626-633.
- Montgomery, J. B. 2011. The efficacy of selenium treatment of forage for the correction of selenium deficiency in horses. *Anim Feed Sci Technol.* 170:63-71.
- Mufarrenge D. 2003. El hierro y el manganeso en la alimentación del ganado de carne en la región NEA. Sitio Argentino de Producción Animal. Repositorio Digital de Acción Abierto. No.376.
- NRC. 2005. Mineral tolerance of animals. 2ª ed. National Academy Press. U.S.A.
- NRC. 1989. Nutrient requirements of Horses. National Research Council. National Academy Press. U.S.A.
- NRC. 2007. Nutrient requirements of Horses. National Research Council. Sixth Revised Edition. National Academy Press. U.S.A. 341p.
- Puls, R. 1988. Mineral levels in Animal Health. 2nd ed. Diagnostic data. Sherpa International. Clearbrook B. C. Trinity Western University Press. Canada.
- Rojas, M.A., Dyer, I.A., and Cassatt, W.A. 1965. Manganese deficiency in bovine. *J. Anim. Sci.* 43:151-153.
- Schrauzer, G. N. 2000. Selenomethionine: A review of its nutritional significance, metabolism and toxicity. *J. Nutr.* 13:1653-1656.
- Schryver, H.F. 1990. Mineral and vitamin intoxication in horses. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 6:295-318.
- Snow, D.H., Person, S.G.B., and Mason, D.K. 1983. Haematological response to racing and training exercise in Thoroughbred horse, with particular reference to the leucocyte response. *Equine Vet. J.* 15:149-154.
- Soriano-Tolsa, M.F., and Carlos, B.D. 2010. Efecto de la suplementación de selenio orgánico sobre el desempeño reproductivo en yeguas criollas en

- la sabana de Bogotá. Licenciado Zootecnista, Universidad de la Salle, Chile.
- Steel, R.G.D., Torrie, J.H. and Dickey, D.A. 1997. Principles and procedures of statistics a biometrical approach. 3rd ed. McGraw-Hill Series in Prob. and Statistics. USA. 622p.
- Tapia-Berly, J.A. 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. Médico Veterinario Zootecnista, Universidad Austral de Chile, Valdivia Chile.
- Thomson, L.J. 2018. Sodium Chloride (salt). Veterinary toxicology, Chapter 34: 479-482.
- Underwood, E.J. 1977. Trace elements in human and animal nutrition. 4th ed. New York. Academic Press.
- Underwood, E.J., and Suttle, N.F. 1999. The mineral Nutrition of Livestock. Cabi Publishing. U.S.A.
- Van Ryssen, J.B.J., J.T. Deagen, M.A. Beilstein, and P.D. Whanger. 1989. Comparative metabolism of organic and inorganic Se by sheep. J. Agric. Food Chem. 37:1358-1363.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B. and Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and starch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 4:3583-3597.
- Vázquez-Goyoaga, A., Zaera-Bengochea, L., Alonso-Rojas, J.I. 2017. Síndrome del caballo caído. Veterinaria Equina Integral. www.equisan.com/images/pdf/caballocaido.pdf.
- Vincent, J.B. 1999. Mechanism of chromium action: low molecular-weight chromium-binding substance. J. Am. Coll. Nutr. 18:6-12.