UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS
ESCUELA DE CIENCIAS VETERINARIA

Suplementación con Cobre y Zinc en dos formas químicas sobre la adecuación mineral de yeguas gestantes y sus crías hasta los 30 días de edad.

MARIA SOLEDAD REYES TRONCOSO

Memoria para optar al Título Profesional de Médico Veterinario. Departamento de Fomento de la Producción Animal

PROFESOR GUÍA: DR. JUAN IGNACIO EGAÑA

PROFESOR COLABORADOR: DR. SERGIO CARVAJAL B

SANTIAGO-CHILE

2006

UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS
ESCUELA DE CIENCIAS VETERINARIA

Suplementación con Cobre y Zinc en dos formas químicas sobre la adecuación mineral de yeguas gestantes y sus crías hasta los 30 días de edad.

MARIA SOLEDAD REYES TRONCOSO

Memoria para optar al Título Profesional de Médico Veterinario. Departamento de Fomento de la Producción Animal.

NOTA FINAL: ……

		NOTA	FIRMA
PROFESOR GUÍA	: JUAN IGNACIO EGAÑA	.....	……
PROFESOR CONSEJERO:	ALEJANDRO LOPEZ	……	……
PROFESOR CONSEJERO:	ENRIQUE PINTO	……	……

SANTIAGO, CHILE

2006

INDICE DE CONTENIDOS

1.- INTRODUCCIÓN ……...……... 1

2.-REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA …….. 3

2.1 Clasificación de los minerales ……. 3

2.2 Minerales orgánicos …….. 5

2.3 Absorción de los minerales traza…….. 6

2.4 Ventajas en la absorción de minerales orgánicos…….. 7

2.5 Disponibilidad de los minerales orgánicos e inorgánicos…….. 8

2.6 Interacción de los minerales traza…….. 10

2.7 Desempeño del Cu y Zn en los caballos de alto rendimiento……. 13

2.8 Zinc……. 15

2.9 Cobre…… 23

3. HIPOTESIS……... 31

4.-OBJETIVOS……. 32

4.1 Objetivo General…… 32

4.2 Objetivos específicos…….. 32

5.-MATERIAL Y METODOS……. 33

5.1 Materiales…….. 33

5.2 Métodos……. 35

5.3 Análisis estadístico…… 38

6.- RESULTADOS…… 40

6.1.1 Yeguas…… 40

6.1.2 Potrillos…… 45

6.2 Composición química proximal y contenido mineral de los alimentos…… 49

6.3 Resultados del balance económico del suplemento…… 51

7.- DISCUCIÓN…… 52

8.- CONCLUSIÓN…… 61

9.- BIBLIOGRAFÍA…… 63

INDICE DE TABLAS Y GRAFICOS

TABLAS **PÁGINAS**

Tabla 1. Composición del Suplemento Vitamínico Mineral suministrado a las yeguas en estudio (cantidad/ 3 Kg.). **34**

Tabla 2. Rangos de concentraciones plasmáticas del cobre y zinc en el equino aceptadas como normales por la literatura especializada (mg/dl). **35**

Tabla 3. Requerimientos dietarios de Cu y Zn, establecidos por el NRC[a] según la condición fisiológica de los equinos (mg/Kg). **37**

Tabla 4. Concentraciones promedios plasmáticas de Zn en los diferentes muestreos de ambos grupos de yeguas (mg/dl). **41**

Tabla 5. Concentraciones promedios plasmáticas de Cu en los diferentes muestreos de ambos grupos de yeguas (mg/dl). **43**

Tabla 6. Concentraciones plasmáticas promedios de Zn de los potrillos de ambos grupos de madres (mg/dl). **46**

Tabla 7. Concentraciones plasmáticas promedios de Cu de los potrillos provenientes de ambos grupos de yeguas (mg/dl). **47**

Tabla 8. Resultados del Análisis Químico Proximal de los diferentes alimentos utilizados en la alimentación de las yeguas (%). **49**

Tabla 9. Contenido de Cu y Zn en los diferentes alimentos utilizados en la alimentación de las yeguas (mg/kg MS). **49**

Tabla 10. Evaluación de los Costos de las dos formas químicas de suplementación en las yeguas en estudio. **51**

GRAFICO **PÁGINAS**

Grafico 1. Variaciones de las concentraciones plasmáticas de Zn durante el transcurso del ensayo en ambos grupos de yeguas (mg/dl). **41**

Grafico 2. Variaciones de la concentración promedio del Zn plasmático de ambos grupos de yeguas. **42**

Grafico 3. Variaciones de las concentraciones de Cu plasmáticas durante el transcurso del ensayo en ambos grupos de yeguas (mg/dl). **44**

Grafico 4. Promedio del muestreo sanguíneo de Cu de ambos grupos de yeguas cuyo modelo explica la tendencia lineal**.** **44**

Grafico 5. Concentraciones plasmáticas promedios de Zn a los 15 y 30 días de edad de potrillos de ambos grupos de yeguas (mg/dl). **46**

Grafico 6. Concentraciones plasmáticas promedios de Cu a los 15 y 30 días de edad de potrillos provenientes de ambos grupos de yeguas (mg/dl). **48**

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la suplementación dietaria de Cu y Zn suministrados en forma de compuestos orgánicos e inorgánicos en yeguas durante sus tres últimos meses de gestación y en sus potrillos hasta los 30 días de edad.

Se escogieron al azar 24 yeguas FSC en sus últimos 3 meses de gestación de un criadero de la región metropolitana, las cuales fueron divididas en 2 grupos, el primer grupo fue alimentado durante estos 3 meses con un suplemento vitamínico mineral en cuya formulación el Cu y el Zn eran aportados en forma orgánica, en cambio el segundo grupo fue alimentado con un suplemento vitamínico mineral en cuya formulación el Cu y el Zn eran aportados en forma inorgánica. Al comenzar este estudio se tomo una muestra de sangre a todas las yeguas que participaban de este estudio con el fin de ver el estatus mineral, principalmente de Cu y Zn. Luego de comenzada la suplementación, se extrajo una muestra de sangre a cada yegua cada 15 días hasta el termino de su gestación, recolectándose un total de 6 muestras por yegua, incluyendo la muestra tomada previo al inicio de la suplementación, para posteriormente tomar 2 muestras de sangre a sus potrillos a los 15 y 30 días de edad. Las concentraciones plasmáticas de Cu y Zn fueron determinadas por espectrofotometría de absorción atómica.

Las yeguas que pertenecían al grupo I presentaron un promedio de Zn plasmático de 0,38 mg/dl y un promedio de Cu plasmático de 0,78 mg/dl antes del inicio del ensayo, al final del ensayo las concentraciones plasmáticas de Zn y Cu fueron 0,51 mg/dl y 0,82mg/dl respectivamente.

Las yeguas que pertenecían al grupo II, presentaron un promedio de Zn plasmático de 0,35 mg/dl y un promedio de Cu plasmático de 0,75 mg/dl antes del inicio del ensayo, al final del ensayo las concentraciones plasmáticas de Zn y Cu fueron 0,48 mg/dl y 0,85 mg/dl respectivamente.

Las yeguas de este estudio se encontraban en un bajo estatus nutricional de Cu y Zn al momento de comenzar este estudio.

La suplementación con Cu y Zn suministrados tanto en forma orgánica como inorgánica aumentó signicativamente los niveles plasmáticos de ambos minerales ($p<0,05$).

Las concentraciones plasmáticas de Cu y Zn en ambos grupos de potrillos a los 15 días de edad fueron inferiores a las aceptadas como normales según Puls, (1988), en el 2º muestreo a los 30 días de vida de los potrillos los niveles plasmáticos de Zn no llegaron al rango mínimo normal, y en el caso del Cu solo los potrillos cuyas madres fueron suplementadas con minerales orgánicos lograron tener un estatus de Cu normal.

No existieron diferencias significativas ($p<0,05$) entre las concentraciones plasmáticas de Cu y Zn ni en las yeguas ni en sus potrillos al ser suplementados con fuentes orgánicas e inorgánicas.

El suplemento vitamínico mineral entregado de forma orgánica cuesta más del doble que el suplemento inorgánico, sin un beneficio que lo justifique.

SUMMARY

The objective in this study was do evaluate the effect of supplemental inorganic and organic forms of copper and Zinc on diets of mares during its last three month of pregnancy and its foals until 30 days of age.

24 FSC mares on their last 3 month of pregnancy were randomly chosen, from a hatchery located at the Región Metropolitana and separated in 2 groups. The first group was fed during this 3 month with a mineral vitamin supplement, formulated with organic form of Cu and Zn. The second group was fed with a mineral vitamin supplement with inorganic form of Cu and Zn. Yugular blood samples were taken before beginning the supplementation to all mares involved, to evaluated the mineral status, Cu and Zn mainly. Once was started the supplementation, blood samples were taken from each mare every 15 days until the end of its pregnancy; getting 6 blood samples from each mare, including the sample taken before the beginning of the supplementation, and 2 blood samples to their foals at 15 and 30 days of age. The plasmatic concentration of Cu and Zn was determinated by atomic absorption spectrophotometry.

Mares of group I showed Zn plasmatic concentration of 0.38 mg/dl and Cu plasmatic concentration of 0.78 mg/dl, before the supplementation begun. At the end of the study, the Zn and Cu plasmatic concentration were 0.51 mg/dl and 0.82 mg/dl respectively.

Mares of group II showed Zn plasmatic concentration of 0.35 mg/dl and 0.75 mg/dl Cu plasmatic concentration, before the supplementation begun. At the end of the study plasmatic concentration of Zn and Cu were 0.48 mg/dl and 0.85 mg/dl respectively. Mares werein a low nutrition status of Cu and Zn when the study started.

Zn and Cu plasmatic levels were significantly increased with the supplementation of these organic and inorganic minerals ($p \leq 0.05$).

Cu and Zn plasmatic concentration were lower than normal according to Pulse, 1988; in both foals groups at 15 days of age. In the second sample taken to foals at 30 days of age, Zn plasmatic concentration did not reach the normal level; and Cu, only foals from mares supplemented with organic minerals obtained normal Cu status.

There were no significant differences ($p \leq 0.05$) between Cu and Zn plasmatic concentration after supplementation with organic and inorganic sources, neither on mares nor on its foals.

The organic vitamin mineral supplement is costly than inorganic supplement, even more than double; without a benefit that justify it in this study.

1. INTRODUCCIÓN

El equino deportivo de alta exigencia, como es el Fina Sangre de carrera (F.S.C.) requiere de una alimentación completa y balanceada, entre otras razones, para garantizar la integridad funcional y estructural de sus tejidos, y sustentar una larga vida productiva, que le permita expresar su máximo potencial genético para el alto rendimiento deportivo al cual son sometidos.

Estudios nacionales, sobre evaluación nutricional mineral en potrillos F.S.C; criados en distintos haras de la zona central del país, demuestran que estos presentan marcadas deficiencias de Cu y Zn dietarios (Carvajal *et al*., 2002).

Las deficiencias minerales en los primeros meses de vida de los potrillos, debido a su rápido crecimiento, tienen un gran impacto en su futuro deportivo, por lo tanto, en esta etapa, se debe asegurar un adecuado aporte dietario que entregue la cantidad y calidad requerida, particularmente de los nutrientes: proteína, energía y minerales (Jackson, 1997).

En caballos en crecimiento, el Cu y el Zn son minerales nutricionalmente esenciales, que cumplen un importante rol en el normal desarrollo óseo equino, existiendo numerosas evidencias clínicas y estudios experimentales, que demuestran una alta correlación entre los contenidos dietarios de Cu y Zn y la presencia de enfermedades ortopédicas, fundamentalmente osteocondritis, (en caballos en crecimiento) (Duren, 1996; Gee *et al.*, 2000; Jackson, 1997; Ott y Asquit, 1989; Weeren *et al*., 2003).

Los mayores desbalances nutricionales ocurren habitualmente con los macrominerales Ca, P y Na; y los microminerales Fe, Cu, Zn y Se en dietas ricas en energía, como sucede con los caballos F.S.C., al ser alimentados con una gran cantidad de granos (Roodney, 1998).

Los ingredientes habituales utilizados en las raciones para animales domésticos, son frecuentemente deficientes en uno o más microminerales y vitaminas, por lo que es necesario hacer una suplementación con estos nutrientes deficitarios. Para formular estos

suplementos vitamínicos y/o minerales, resulta esencial conocer el contenido dietario de estos nutrientes, además de los requerimientos nutritivos del animal y la biodisponibilidad de los micronutrientes tanto de las materias primas, como de las fuentes suplementarias utilizadas (Mateos *et al*., s.f).

No es fácil, aún para los expertos en el tema, valorar en su justa medida la calidad y costo del suplemento vitamínico y/o mineral. El problema se complica aún más, cuando intentamos comparar la relación costo/beneficio del suplemento mineral ofrecido por diferentes empresas fabricantes de este tipo de suplementos. También es difícil tomar la decisión de su compra, basándose exclusivamente en la composición especificada de las etiquetas. Por ejemplo, para un mismo contenido de vitaminas y minerales, no siempre el más barato es el más efectivo. Pero también es cierto, que en la mayoría de las veces, tampoco el suplemento vitamínico mineral más caro es el más rentable (Mateos *et al*., sf).

Existe un creciente interés por la evaluación de las formas minerales orgánicas, como fuentes minerales dietarias, pues pueden ser incluidos en la dieta en cantidades muy inferiores, que sí ese mismo mineral, es entregado en forma de un compuesto de naturaleza inorgánico, además de permitir incrementar la productividad animal, y a la vez minimizar su excreción, por lo tanto, disminuir el impacto ambiental de los sistemas productivos animales (Wichert *et al*., 2002b)

El presente trabajo, evaluará el efecto de la suplementación mineral con Cu y Zn entregada en dos formas químicas diferentes (orgánica e inorgánica) sobre la adecuación nutricional mineral de estos dos minerales, en yeguas gestantes y en sus potrillos hasta los 30 días de edad. Esta información, permitirá generar antecedentes nacionales que contribuyan a establecer algunas normas de manejos de la nutrición mineral, de yeguas F.S.C.; en su período final de gestación, tendientes a disminuir, la alta prevalencia de deficiencias minerales evitando problemas óseos futuros.

2. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

Una de las formas de evaluación de los minerales lo constituyen el análisis de las cenizas totales, el cual tiene escaso significado, tanto para expresar los requerimientos de minerales, como también, para indicar el contenido útil de minerales de un alimento, porque, el organismo tiene requerimientos específicos de ciertos elementos inorgánicos (por ejemplo: Ca, Zn, etc.) y las cenizas no son un buen indicador del contenido de materia inorgánica total, ya que parte del carbono orgánico puede hallarse como carbonato y algunos elementos inorgánicos (por ejemplo: S, Se, I, Fl y también Na) pueden perderse durante la combustión (Hand *et al*., 2000).

El análisis de las cenizas totales, rutinariamente se realiza en el análisis químico proximal, para calcular el extracto no nitrogenado (ENN). A continuación, los minerales específicos de interés pueden analizarse (si no se volatizaron) a partir de la composición de las cenizas (Hand *et al*., 2000).

Los minerales, constituyen un 4-5 % del peso del animal, y su aporte dietario es necesario para la vida y salud de todas las especies. Su deficiencia o exceso provoca enfermedades o, en el mejor de los casos reducen la productividad (García *et al*., 1995).

2.1 Clasificación de los minerales

En la actualidad se estima que son 22 los elementos minerales necesarios para las formas superiores de vida animal. Basándonos en criterios cuantitativos, es decir, atendiendo a la cantidad de mineral que requiere el organismo, los minerales se clasifican en: (García *et al*., 1995; Nestlé, 1997)

- Macrominerales (Ca, P, Na, Cl, Mg y S), cuya presencia en el organismo es de una magnitud superior a 10^{-2}, expresándose las necesidades que de ellos tienen los animales en % sobre el total de la ración, o bien una cantidad diaria (g/día)

- Microminerales o minerales trazas (Fe, Zn, F, Si, I, Mn, Cu, y Mo); su contenido en el organismo es del orden de 10^{-4} a 10^{-5}.

- Vestigiales o trazas (Se, Co, V, As, Ni etc.); su concentración es de magnitud inferior a 10^{-6}.

Las necesidades dietarias diarias, tanto de los microminerales como de los elementos trazas, son mínimas, aunque cualitativamente importante, y se expresan en partes por millón (ppm) o mg/día (García *et al.*, 1995; Nestlé, 1997).

Sin embargo, la clasificación basada en la función biológica que desarrollan, es la más interesante, tanto desde el punto de vista fisiológico, bioquímico y nutritivo. En este sentido podemos dividir los minerales en tres clases (García *et al*., 1995).

Elementos esenciales	**Probablemente esenciales**	**Función incierta**
Ca, P, K, Cl Na, S, Zn, Mo, Se, Fe, Cu, Co, Mn, I	F, Si, V, Cr Cd	Li, Al

Para que un elemento sea considerado como esencial debe cumplir los siguientes requisitos: (García *et al*., 1995).

1. Que esté invariablemente presente en los animales en concentraciones similares en cada individuo.
2. Que su contenido siga en los diferentes tejidos la misma secuencia.
3. Que se produzcan síntomas carenciales y cambios bioquímicos definidos en los animales cuando se alimentan con una dieta sintética deficiente en dicho alimento.
4. Que los síntomas y cambios puedan prevenirse o eliminarse adicionando el elemento en cuestión a la dieta experimental.

2.2 Minerales orgánicos

Los minerales trazas pueden ser adicionados a la dieta tanto en forma orgánica como inorgánica. Estas dos formas químicas de minerales poseen importantes variaciones en sus propiedades y estructuras. Normalmente, las sales inorgánicas, tales como son los sulfatos, carbonatos, cloruros y óxidos, son adicionados a la dieta, con el fin de aportar los niveles adecuados para satisfacer los requerimientos de los animales; sin embargo, los iones libres de estos compuestos inorgánicos, son muy reactivos y pueden formar complejos con otras moléculas de la dieta, haciéndolos muy difíciles de absorber, por lo que frecuentemente, grandes cantidades de minerales no absorbidos, son excretados causando un problema adicional de contaminación ambiental (Close, 2002).

El Cu y Zn son particularmente preocupantes en lo referente al impacto ambiental, ya que su excreción contribuye a la contaminación de suelos y cursos de aguas y pueden ser tóxicos a la microflora del suelo (Close, 2002).

Las formas minerales queladas, pueden ser incluidas en niveles muchos menores sin comprometer el rendimiento del animal, y a la vez minimizando la excreción de nutrientes y el impacto ambiental (Close, 2002).

Por las razones anteriormente mencionadas, existe un creciente interés en estas formas químicas orgánicas, que son compuestos formados por un ión metálico que reacciona con un ligando que es una molécula o ión de naturaleza orgánica, que posee un átomo con un par de electrones libres y donde el ión metálico esta unido al ligando a través de un átomo donante como Oxígeno, Nitrógeno o Azufre (Hynes y Kelly, 1995).

Los aminoácidos y péptidos son el típico ejemplo de ligando, ya que tienen la habilidad de donar electrones de ambos átomos, tanto del nitrógeno como del oxígeno de sus dos grupos funcionales: amino y carboxilo. Además son componentes químicos que tienen mucha similitud a los que se encuentran en el organismo, y son mejor tolerados (Dudley-Cash, 1997).

2.3 Absorción de los minerales trazas

El sistema digestivo se puede considerar la puerta de entrada al organismo de las sustancias nutritivas, tales como las vitaminas, minerales y electrólitos, proteínas y aminoácidos, lípidos y carbohidratos (García *et al.*, 1995).

Existen tres etapas básicas relacionadas con el ingreso de los nutrientes a través de la membrana hacia el interior de las células que tapizan la mucosa intestinal. Primero, los nutrientes deben solubilizarse dentro del estrato acuoso del contenido gastrointestinal. Luego, el nutriente debe penetrar la membrana celular epitelial y pasar de un lado hacia el lado opuesto, a través del segmento lipídico. Finalmente, el nutriente abandona la membrana y entra al citoplasma celular. Cualquier regulador del transporte de nutrientes modulará, por lo menos, una de estas tres fases (Rompala, 2002).

Se desconoce cual es el mecanismo exacto que utilizan los minerales trazas para poder ingresar a las células (Rink y Gabriel, 2000). Al respecto, Prohaska (1990), señala que la absorción mineral, es facilitada por ciertos ligandos, tales como aminoácidos, y aparentemente, esta no sería energético dependiente.

La absorción de los minerales está influenciada por la solubilidad, pH, reducción de potencial, intensidad de carga y creación de complejos. Estos factores pueden, ya sea, aumentar o reducir su disponibilidad. Por ejemplo, los cationes de la tabla periódica de los grupos 6B a 2B (por lo tanto, incluyen al Cu y Zn) sin una carga iónica relativamente elevada (+2, +3) y de tamaño pequeño, componen un elevado número de iones complejos con alta capacidad de interactuar con otras moléculas, mientras que los cationes metálicos muy alcalinos, como Na^+ y K^+, con carga pequeña tienen menor probabilidad de formar complejos con partes de proteínas o hidratos de carbono mediante enlaces iónicos, o covalentes. Por lo cual, la carga de un mineral participa en la permeabilidad celular, formación de complejos, y en la solubilidad de los iones, antes de que éstos ingresen a las células (Hand *et al*., 2000).

La solubilidad relacionada con la disponibilidad mineral, incluye la solubilidad de un ión, una sal, un hidrato o un complejo y varía en gran medida de acuerdo con el tamaño del ión y su grado de polaridad o carga; relacionándose con el tipo y la fortaleza de los puentes químicos de estas moléculas. La inhibición de la absorción de un mineral por acción de un alimento puede contrarrestarse mediante acrecentadores de la absorción mineral, tales como el ascorbato, la carne, el ácido cítrico y otros ligandos (por ejemplo, el ascorbato aumenta la absorción de hierro, pero reduce la de cobre; ambos efectos se deben a un cambio de pH y a la reducción del estado de valencia) (Hand *et al*., 2000).

2.4 Ventajas en la absorción de minerales orgánicos

El tracto gastrointestinal es capaz de absorber compuestos con diferentes grados de solubilidad, indicando la existencia de diferentes mecanismos de absorción. Puede ocurrir que quelando ciertos minerales con proteínas y aminoácidos se aumenten sus características de solubilidad, lo que a su vez aumenta la absorción o permite a los elementos trazas orgánicos, cruzar la membrana por mecanismos adicionales a los de las fuentes inorgánicas, traduciéndose en un incremento en la utilización de esos nutrientes lo que aumenta su eficacia (Baker, 2002; Rompala, 2002), así como también, al quelar un mineral con un aminoácido, este se mantiene estable frente a los cambios de pH del sistema gastrointestinal y no tiene carga eléctrica, aumentando la biodisponibilidad de los minerales en el organismo (Rompala, 2002).

Sin embargo, debe recordarse que el incremento en la utilización de los elementos trazas dietéticos es solo parte de lo que hace que un quelato sea un suplemento de mayor biodisponibilidad. El complejo mineral-quelado, debe además, ser estable antes de alcanzar el lugar de absorción y permanecer después de su absorción, biológicamente activo y disponible para el metabolismo. Puede definirse como estabilidad óptima de un quelado, la prevención de la reacción del mineral con otros componentes dietéticos en el intestino que originen compuestos insolubles e inestables, haciendo que el elemento quede menos expuesto a tomar parte en reacciones que podrían inhibir su absorción (Rompala, 2002).

2.5 Disponibilidad de los minerales orgánicos e inorgánicos.

La disponibilidad de un mineral, se define como el porcentaje del mismo que es utilizado por el animal, valorándose en comparación con un patrón, que no siempre es el mismo compuesto químico (Baker y Johnson, 1997 citado por Mateos *et al.*, s.f).

Los factores que afectan la disponibilidad mineral, incluyen:

- Presencia de factores no nutricionales: por ej., fitatos, fibra y otros
- Interacciones de los nutrientes: por ej., exceso de otros minerales
- Estado fisiológico: por ej., la demanda de ciertos minerales aumenta durante la reproducción y el crecimiento respecto a la etapa de mantenimiento y esto acrecienta las diferencias de disponibilidad entre fuentes orgánicas e inorgánicas (Hand *et al*., 2000).
- Tipos de fuentes minerales utilizadas (Baker y Johnson, 1997 citado por Mateos *et al.*, s.f).

En general, aunque con excepciones, los sulfatos y los cloruros son más disponibles que los carbonatos y estos a su vez, más que los óxidos. Sin embargo, los microminerales añadidos en forma de sulfatos tienden a apelmazarse lo que puede ser contraproducente en fuentes de alta concentración, el óxido contiene más Zn que el sulfato, pero su disponibilidad es ligeramente inferior. Numerosas veces, los coeficientes de absorción no siempre son equivalentes con los valores de disponibilidad a nivel tisular (Mateos *et al*., s.f).

En cuanto al Cu, la literatura describe que la mayoría de sus fuentes tanto orgánicas como inorgánicas (metionina, lisina, sulfato, acetato, cloruro, óxido, cuproso, etc.) son bien utilizadas tanto por los animales monogástricos como en rumiantes. El sulfato cúprico pentahidratado ($CuSO_4 \cdot 5\ H_2O$) se toma como patrón, asignándole una disponibilidad del 100%. El carbonato presenta valores medios, inferiores al sulfato. Sólo el óxido cúprico presenta valores de utilización limitados (Mateos *et al*., s.f).

Existen numerosos estudios sobre la biodisponibilidad de las distintas formas químicas del Cu y Zn que confirman lo citado; es así que Wichert *et al.*, (2002b), describieron una investigación sobre la respuesta sérica de equinos suplementados oralmente con distintos compuestos de Zn los que fueron: Óxido, Sulfato y Sulfato de Zn quelado con el aminoácido licina. Los resultados indicaron que el sulfato de Zn y el sulfato de Zn quelado, tienen mayor biodisponibilidad que el óxido de Zn, ya que la concentración de Zn sérico, aumentó en relación al del control y los grupos de oxido de Zn.

De igual forma, estudios en cerdos, demostraron que las fuentes de Zn-metionina tenían una biodispobilidad del 206% en comparación con la del $ZnSO_4$, que se consideró como del 100%. A diferencia., con el ZnO, obtuvo un biodisponibilidad de solo el 61% (Close, 1999).

Estudios similares, realizados en cerdos, demostraron que el sulfato de Cu y el Cu quelado tienen mayor disponibilidad, el carbonato de Cu posee una disponibilidad intermedia y el óxido de Cu, es de baja disponibilidad. Además demostraron que no existían diferencias entre el sulfato de Cu y el Cu quelado; pero suplementaciones de sulfato de Cu y de Cu quelado, sobre las 200 ppm, dieron una mayor disponibilidad del Cu quelado en comparación con el sulfato de Cu (Close, 1999).

Mateos *et al*, (sf) mencionan que la disponibilidad de los minerales orgánicos en las especies domésticas, no es muy superior al de las fuentes inorgánicas, como son los sulfatos (Mateos *et al*., s.f).

Sin embargo, existe abundante evidencia experimental, que demuestra que las formas orgánicas de algunos minerales (por ejemplo: Se, Cr y Fe) se utilizan mejor que las inorgánicas. Pero para otros minerales, como son el Zn y Cu, existe mucha información contrapuesta, por lo que no existe un consenso, sobre cual es la forma química más adecuada para suplementarlos en las dietas. Por ejemplo, existe un número similar de estudios, que no encontraron diferencias en las respuestas animales, cuando se utilizaron suplementos inorgánicas e orgánicas de Zn/Cu, pero igualmente existe otro gran número de

publicaciones, que sí encontraron diferencias en algunos parámetros bioquímicos y en la respuesta de animales suplementados con ambas formas químicas de los minerales (Hand, 2002). La respuesta a la forma química de la suplementación, dependerá de cada mineral, las condiciones; o tipo de la dieta y el estado fisiológico del animal (Hand *et al.*, 2000).

La información actualmente disponible, indica que la utilización de Zn orgánico ofrece poco o ningún beneficio, cuando se utiliza en dietas constituidas en alimentos con bajo contenido de fitato y calcio, pero a medida que los niveles de fitato, calcio o ambos, se incrementan, o que la demanda de Zn aumenta (por ejemplo, período de crecimiento), la utilización de Zn de fuentes orgánicas es mayor. Asimismo, en animales con crecimiento más rápido, está descrito que el Zn orgánico produce mayores ganancias diarias de peso, la que disminuyen gradualmente con la maduración del animal, lo cual sugiere que las fuentes de Zn orgánico, serían menos beneficiosas para animales adultos (Hand *et al.*, 2000).

En resumen, las formas orgánicas de los minerales pueden ser beneficiosas cuando las condiciones dietarias o fisiológicas limitan la disponibilidad del mineral. Estas condiciones comprenden: (Hand *et al.*, 2000)

1. Antagonismo entre minerales debido a la presencia de fitatos, fibra dietaria y excesos de otros minerales.
2. Demanda metabólica incrementada, como ocurre durante períodos de crecimiento rápido, reproducción y reto inmunológico.

2.6 Interacciones de los minerales trazas

Las numerosas interacciones entre minerales pueden ser ya sea del tipo antagónicas, es decir, que la presencia de un mineral reduce el transporte o la eficiencia biológica del otro; o bien, sinérgicas, en la que dos a más minerales actúan de manera complementaria, mediante el ahorro o la sustitución del otro mineral o ambos mejoran una función biológica.

La mayor parte de las interacciones entre los diferentes minerales, son del tipo antagónicas y se producen a través de diferentes mecanismos, en las diferentes etapas de su utilización, ya sea: (Hand *et al*., 2000)

1. Durante el procesamiento del alimento antes del consumo.
2. En el tracto digestivo, donde existe competencia por los sitios de captación o por mecanismos a nivel intracelular.
3. A nivel tisular, en los sitios de depósito, o bien, como inhibición de la actividad enzimática.
4. Durante el transporte.
5. En la vía excretora.

Hill y Matrone (1970), realizaron el primer estudio para describir las interacciones de los minerales trazas en una ración de equinos. Ellos postularon que elementos con similares propiedades físicas y químicas podrían actuar biológicamente en forma antagónica. Los fundamentos de este postulado es que dos o más minerales con similitudes químicas comparten "canales" de absorción, lo que determinará su competencia por la absorción, compitiendo además por los sitios de unión en el transporte proteico o en las enzimas que requieren metales como co-factores (Hill y Matrona, 1970 citado por Bremner y Beattie, 1995).

Un ejemplo de interacción digestiva, es la formación de complejos minerales insolubles, por ejemplo, los alimentos que contienen fitato y exceso de calcio forman un complejo insoluble de calcio-fitato-zinc, que reduce la disponibilidad del Zn (Hand *et al*., 2000). Los fosfatos son otro ejemplo en la disminución de la absorción digestiva de Zn (Lönnerdal, 2000).

También, se ha demostrado experimentalmente que contenidos excesivos de Ca dietario, pueden provocar osteoporosis generalizada, al condicionar una deficiencia de Cu (Kronfeld *et al*., 1990). Esta última evidencia, indica claramente, la importancia del contenido mineral del heno, particularmente de Ca, con la que es alimentado el equino, ya que puede tener un gran impacto sobre la biodisponibilidad del Zn y Cu, lo que afectará

significativamente los requerimientos de estos dos microrminerales en la dieta del equino (Cousins, 2001; Jackson, 1997; Mahan y Arlin, 1995)

Las interacciones entre minerales, también ocurren en los depósitos tisulares; por ej., altas concentraciones de Fe en la dieta, reducen los depósitos hepáticos de Cu (Hand *et al*., 2002). Adicionalmente, cuando el Fe está en la forma de sulfuro ferroso, reduce la absorción de Cu, debido a que se forma el sulfuro de Cu, que es insoluble (Berger, 1993).

El Fe también compite con el Zn para su absorción, las relaciones Fe**:** Zn de 2:1 o 3:1, originan una disminución importante de la captación de Zn. Es bastante común que en muchos suplementos vitamínicos minerales, esta relación, sea mayor de 3:1 (Mahan y Arlin, 1995).

El Mo posee una acción aditiva con el Fe, en la disminución del Cu hepático. Reacciona con el S, formando tiomolibdatos, los que se unen al Cu y, forman compuestos "tiomolibdatos cúpricos", que no son absorbidos por el animal (Paterson *et al.*, 2002; Puls, 1988).

Además, se ha estudiado, que un aumento de proteínas en las dietas como la caseína, disminuye la disponibilidad de Zn provenientes de los alimentos (Lönnerdal, 2000).

En determinadas condiciones, el ácido ascórbico también puede reducir la absorción de Cu, si bien, sigue siendo objeto de discusión. La absorción de Cu^{+} es inferior a la de Cu^{+2} y el ascorbato puede reducir el Cu^{+2} a Cu^{+}, lo que podría explicar la disminución en su captación. Además, hay que tener presente que el ácido ascórbico puede influenciar el transporte del Cu, ya que en cantidades excesivas reduce la actividad oxidativa y por lo tanto las propiedades funcionales de la ceruloplasmina, que es la proteína hepática, encargada del transporte del Cu en el plasma (O`Dell, 1991).

Otro inhibidor de la absorción de algunos metales es el ácido fítico contenido en los vegetales, el que forma un complejo insoluble con el Zn, disminuyendo su biodisponibilidad (Cousins, 2001; Mahan y Arlin, 1995). También disminuyen la absorción del Zn, la bilis, fibra dietaria y los polifenoles (Cousins, 2001; O´Dell, 1991).

Finalmente, el mutuo antagonismo entre el Cu y el Zn, es considerado como un ejemplo de la interacción biológica competitiva entre metales con propiedades químicas y físicas similares; es así que la ingestión de cantidades muy elevadas de Zn ocasiona déficit de Cu y las consecuentes enfermedades ortopédicas en caballos jóvenes. Cantidades elevadas de Zn dietario estimulan a las células intestinales para que produzcan más metalotioneína; la cual es una metaloproteína rica en cisteína que se une al Zn y al Cu y a otros cationes bivalentes. Los metales unidos a la metalotioneína sufren un rápido recambio, lo que sugiere que esta actúa como ligando inducible que tampona la absorción de estos metales (Prohaska, 1990). La metalotionina posee una mayor afinidad con el Cu en comparación al Zn (Paterson *et al*., 2002).

2.7 Desempeño del Cu y Zn en los caballos de alto rendimiento

En la reproducción de caballos de alto rendimiento deportivo, como son los caballos de carrera, el factor genético (pedigree) recibe gran importancia; muchas veces, ignorando y descuidando el factor nutricional, particularmente en las yeguas reproductoras y sus potrillos neonatos, requerido para el desarrollo y crecimiento del aparato óseo y crecimiento del esqueleto del neonato desde la concepción hasta la etapa del crecimiento intensivo, que ocurre en el ultimo tercio de la gestación, la que conjuntamente con la lactancia, constituyen las etapas más importante en el desarrollo del neonato, las que en condiciones de nutrición desequilibrada, producirán un caballo de mediano o bajo rendimiento deportivo, causado por las enfermedades ortopédicas nutricionales (Murga, 2001)

Por otro lado, Honore y Uhlinger (1991), señalan que también existe una percepción por los propietarios de haras, que consideran que los minerales y las vitaminas

mejoran la salud y rendimiento del equino, por lo que la gran mayoría de ellos tienden a suplementar a sus ejemplares con estos nutrientes (Honore y Uhlinger, 1991).

El Cu y el Zn son minerales que poseen gran importancia para un óptimo desempeño atlético, ya que condicionan una adecuada densidad ósea, que es relevante para el alto trabajo que exige la hípica; por lo que la calidad del hueso, es un elemento fundamental en esta capacidad, otorgando mayor firmeza y resistencia, para que el equino pueda soportar tracciones, esfuerzos y sobrecargas (Murga, 2001).

Los huesos están compuestos de fosfato tricalcico y otros minerales que son depositados en la matriz ósea, integrada además, por fibras de colágeno. La resistencia y salud del tejido óseo dependerá de la fuerza de las fibras de colágeno (Murga, 2001), para cuya formación es imprescindible el Cu y el Zn (Jackson, 1997).

Conjuntamente estos minerales cumplen un importante rol en la reducción de las patologías, tales como fisitis, osteocondritis, síndrome Woobler y en el desarrollo de otras enfermedades ortopédicas del desarrollo, debido a su participación en el desarrollo del esqueleto y tejido cartilaginoso (Duren, 1996; Jackson, 1997).

Las enfermedades ortopédicas del desarrollo, corresponde a un conjunto de desordenes, entre los que se incluyen a la osteocondrosis, osteocondritis disecante, fisitis, algunas deformidades angulares, malformaciones de las vértebras cervicales y deformaciones óseas del carpo y tarso (Bridges *et al.*, 1984; Bridges y Moffitt, 1990).

Se señala como causas de la osteocondritis disecante y de las anormalidades del crecimiento, la predisposición genética a un rápido crecimiento, además de excesos de energía y/o proteínas en la dieta, desbalances en la relación Ca/P en la dieta, deficiencias de Cu, y otros desbalances de minerales trazas (Bridges *et al.*, 1984; Weeren *et al.*, 2003).

La osteocondritis (OC), es la enfermedad ortopédica más frecuente durante el desarrollo de los equinos. Su prevalencia es del 20-25 % incluyendo todas las

articulaciones y lesiones ocultas a las radiografías, las que ocasionan pérdidas considerables para la industria equina, tanto en el bienestar animal como de tipo económico (Weeren *et al*., 2003).

Mizuno y Yamamoto (1993), en 25 haras, que incluyeron 270 potrillos de hasta 18 meses de edad, evaluaron la relación entre incidencia de epifisitis y el contenido de Cu y Zn dietarios, demostrando que existió una alta correlación entre la epifisitis y deficiencias de de estos dos minerales.

Son numerosos los trabajos realizados en equinos, que confirman que un buen aporte nutricional de estos dos oligoelementos, guarda directa relación con la deposición mineral ósea, y consecuentemente en la prevención de las anormalidades esqueléticas propias de los potrillos en crecimiento (Duren, 1996; Hintz, 1996; Ott y Asquit, 1989; Weeren *et al.*, 2003). Esto es válido no solamente para la especie equina, sino que también para otros animales, como lo demuestran estudios realizados por Jenkins (1989) en cerdos, donde se determinó la influencia de los minerales trazas, sobre el desarrollo del esqueleto, ingesta de ración y ganancia diaria de peso (GDP), en los cuales, no hubo efecto de la suplementación mineral sobre ingesta de la ración, ni la GDP, pero sí produjo un aumento en la deposición mineral ósea, la que aumentó cuando se les suplemento la dieta con el más alto nivel (Jenkins, 1989).

En un futuro próximo, los resultados de las evaluaciones de las densidades óseas, particularmente, las de los equinos, serán información rutinaria para esta industria pecuaria, las que influirán en las subastas y en la evaluación del potencial atlético de potros y potrancas o yeguas, además en los criterios de compra de los equinos para la equitación. La importancia de la densidad ósea equina, además será considerada con la información genética del pedigee del equino (Murga, 2001).

2.8 ZINC (Zn)

Su condición de nutriente esencial se demostró inicialmente en las plantas en 1869, esta misma condición, respecto de los animales, fue demostrada en 1934. Para evidenciarla

fue necesario utilizar dietas semipurificadas deficitarias en Zn. Dada su ubicua presencia en la gran mayoría de los alimentos, la deficiencia natural de Zn fue considerada como improbable hasta 1957, cuando se demostró que el metal mejoraba la paraqueratosis de los cerdos alimentados con dietas de tipo práctico basadas en proteína vegetal y ricas en calcio (Cousins y Hempe, 1991).

Desde el punto de vista nutricional, Harrington *et al* (1973), demostraron en potrillos, que la adición de 40 mg de Zn/ Kg MS dietaria, es suficiente para prevenir su deficiencia (Harrington *et al*., 1973 citado por NRC, 1989). Schryver *et al* (1974), reportó que los potrillos alimentados con 41 mg de Zn/Kg de dieta, crecieron adecuadamente y mantuvieron sus concentraciones plasmáticas de Zn normales (Schryver *et al*., 1974 citado por NRC, 1989). Drepper *et al* (1982), señalaron que la adición de 50 mg de Zn/Kg MS dietaria, era adecuada para todas las categorías fisiológicas productivas del equino (Drepper *et al*., 1982 citado por NRC, 1989). A pesar que la edad, la velocidad de crecimiento, la preñez y la lactancia, son factores condicionantes de las necesidades dietarias de Zn. Sin embargo Díaz *et al* (2002) y Cymbaluk *et al* (1986), demostraron que la edad no influencia los niveles plasmáticos de Cu y Zn.

El término "requerimiento verdadero (fisiológico) de Zn" se refiere a la cantidad de Zn requerida por el organismo para sustituir las pérdidas orgánicas obligatorias y aportar la cantidad necesaria para el crecimiento fetal, lactancia, y el aumento de la masa corporal (Cousins y Hempe, 1997).

Actualmente, se han utilizado aportes dietarios de Zn, mayores a los recomendados por el NRC, debido a que las pérdidas de este mineral que ocurren en el sudor, las que son entre 20-21 mg/l, pudiendo ser mayores. Al respecto, Jackson (1997) recomienda que los equinos que están en un entrenamiento moderado y los de trabajo pesado, requieren 400 y 500 mg de Zn/Kg/día, respectivamente.

Las fuentes minerales utilizadas en la suplementación de Zn son: sulfato, óxido, cloruro y, carbonato de zinc, además de Zn quelados a diferentes compuestos orgánicos (NRC, 1989).

La leche de la yegua contiene alrededor de 1,8 a 3,2 mg de Zn/lts de leche fluida. Los potrillos, que normalmente consumen alrededor de 15 Kg de leche diarios, ingieren alrededor de 27 a 48 mg de Zn, lo que equivale a un consumo de Zn 17 a 30 mg/ Kg MS láctea. Además el Zn de la leche fluida, es altamente biodisponible (NRC, 1989).

El Zn en el organismo se encuentra prácticamente en la totalidad de las células, existiendo en mayor concentración en determinados tejidos animales (Cousins y Hempe, 1991), tales como próstata, iris y la membrana coroides del ojo; concentraciones intermedias se encuentran en la piel, hígado, hueso, y músculo; y bajas en sangre, leche, pulmón, y cerebro (NRC, 1989).

A pesar de que en el músculo esquelético su concentración es moderada, constituye la mayor proporción (60%) del Zn en el organismo, ya que este tejido constituye la mayor parte de la masa corporal. El músculo esquelético y el hueso combinados, contienen aproximadamente 90% del Zn presente en el organismo (NRC, 1989).

Su distribución en los diferentes tejidos es similar en las distintas especies de animales. En la mayoría de los tejidos del organismo, como por ejemplo: músculo, encéfalo, pulmones y corazón, sus concentraciones son relativamente estables y no responden a las variaciones de su aporte en la dieta, aún cuando su aporte dietario, oscile entre amplios rangos. A diferencia, en otros tejidos como son hueso, testículos, pelo y sangre, su concentración tiende a reflejar su ingesta dietética. Es sabido que una baja ingesta de Zn, reduce sus concentraciones plasmáticas, hasta en un 50% (Cousins y Hempe, 1991).

El equilibrio o balance del Zn es el que se establece entre su absorción y excreción intestinal. La primera, es utilizando los mecanismos de transporte activo, pero

también ocurre por difusión. Además, está controlado por la homeostasis y se afecta por los valores del Zn en la dieta y la presencia de sustancias de interferencia (Mahan y Arlin, 1995; Rink y Gabriel, 2000).

La absorción de Zn ocurre principalmente en el intestino, con un rango que va entre el 5 y el 90% del Zn consumido (Briggs, 1998). La intensidad del proceso digestivo, el tiempo del tránsito intestinal y la unión del Zn a agentes específicos, condicionan el aporte cuantitativo que cada segmento del intestino delgado hace en su proceso de absorción (Cousins y Hempe, 1997).

El Zn en el enterocito se encuentra asociado a una metalotioneína, la cual es directamente proporcional a la ingesta alimentaria del mismo, por lo que, las concentraciones séricas de Zn tienden a reflejar la ingesta dietaria (Cousins y Hempe, 1997).

No existe un sistema especializado de almacenamiento del Zn en el organismo, requiriéndose una regular y similar ingesta diaria (Rink y Gabriel, 2000).

Una vez absorbido el Zn, es transportado rápidamente vía vena porta por la proteína plasmática albúmina al hígado, donde se concentra (Bremner y Beattie, 1995; Rink y Gabriel, 2000). Dentro del hepatocito, se une a metaloproteínas y a las metalotioneínas (Emerick y Kayongo-Male, 1990).

Su distribución, a los tejidos extra-hepáticos se produce a través del plasma, en el que se encuentran aproximadamente entre el 10 y 20% del total del Zn del organismo, siendo la albúmina el principal reservorio de Zn intercambiable metabolitamente activo en la sangre, la que contiene aproximadamente el 80% del Zn plasmático. Otros componentes del plasma que contienen Zn son la macroglobulina alfa-2, la transferrina y los aminoácidos cisteína e histidina (Cousins y Hempe, 1991; Mahan y Arlin, 1995).

Las concentraciones plasmáticas de Zn, pueden alterarse por diferentes condiciones fisiológicas, tales como el ayuno, embarazo, o por procesos patológicos como afecciones intestinales, cirugías, insuficiencia pancreática, lesiones e inflamaciones, además de diversos tipos de estrés agudo, por ejemplo, las infecciones (Mahan y Arlin, 1995; Rink y Gabriel, 2000).

Mahan y Arlin (1995), señalan que las concentraciones séricas de Zn disminuyen después de una comida libre de Zn, posiblemente por que el páncreas capta el Zn de la circulación para producir las metaloenzimas necesarias para la digestión y absorción (Mahan y Arlin, 1995). Por otro lado, Cousins y Hempe (1997), describieron que el ayuno, produce un aumento de Zn plasmático, debido a los cambios catabólicos regulados hormonalmente, que determinan la movilización de una parte de la gran reserva de Zn de los músculos. Las fluctuaciones dietarias en el aporte de Zn, pueden compensarse utilizando las reservas musculares, que constituyen más de 50% del Zn existente en el cuerpo humano. Esta respuesta al ayuno se observa en ratas con depleción del metal (Cousins y Hempe, 1997).

Frente a una situación de estrés, los niveles plasmáticos de Zn sufren una transitoria disminución debido a una redistribución de Zn causada por un aumento de los niveles de glucocorticoides, que determinan una reducción del Zn plasmático y un aumento simultáneo de la captación hepática (Bremner y Beattie, 1995; Cousins y Hempe, 1997).

Una disminución de los niveles plasmáticos de Zn, también ocurre frente a enfermedades intestinales o pancreáticas, debido a que existe un nexo entre el páncreas y la absorción de Zn. La insuficiencia pancreática reduce la hidrólisis enzimática de los componentes alimenticios, lo que a su vez, limita la liberación de Zn y su disponibilidad para la captación celular (Cousins y Hempe, 1991).

La excreción de Zn se realiza preferentemente por vía fecal, a partir de secreciones pancreáticas, biliares, o intestinales y de las células de las mucosas descamadas (Emerick y Kayongo-Male, 1990).

La orina suele contener cantidades muy escasas de Zn, aunque pueden aumentar de forma pronunciada, como respuesta a enfermedades que producen un excesivo catabolismo muscular o en las disfunciones renales acompañando la proteinuria (Cousins y Hempe, 1997).

La ubicua distribución celular del Zn, junto al hecho de que es el oligoelemento intracelular más abundante, indica que sus funciones son muy básicas. Estas distintas funciones; es decir, catalíticas, estructural y de regulación, definen el rol biológico que desempeña el Zn (Fascetti y Morris, 2002).

Su rol bioquímico, se relaciona estrechamente con las funciones de las más de 200 enzimas presentes en el organismo, ya sea como componente estructural de su molécula, o bien, como activador de ella. Entre las enzimas más importantes podemos mencionar a las ARN nucleótido transferasas (ARN polimerasas I, II y III), anhidrasa carbónica, fosfatasa alcalina y carboxipeptidasa (McDowell *et al.*, 1993; NRC, 1989; Ott y Asquit, 1989), implicadas en metabolismo proteico y de los carbohidratos (Duren, 1996; Mateos *et al*., sf). Se considera que este mineral es el más activo metabólicamente, por lo que su deficiencia generaría diversas patologías de carácter metabólico, además de alteraciones en la expresión de genes y consecuentemente en la mitosis celular (Hynes y Kelly, 1995).

En general, se considera que una enzima, es una metaloenzima con Zn, cuando su eliminación causa una reducción de su actividad, sin afectar la irreversibilidad de la proteína enzimática, por lo que la adición de Zn, restablece su actividad. No se conoce la forma en que se produce la donación del Zn a las *apometaloenzimas* (Cousins y Hempe, 1997).

Se admite que los defectos fisiológicos solo se producirán cuando la enzima que necesita Zn actúe en un paso limitante de una vía o un proceso bioquímico esencial (Cousins y Hempe, 1997).

Durante las etapas fisiológicas de crecimiento, preñez, y lactancia existe un incremento de los requerimientos del Zn, debido a que es un mineral esencial para toda proliferación celular (Rink y Gabriel, 2000), ya que estabiliza los ácidos ribonucleicos (RNA) y desoxiribonucleico (DNA) y es necesario para la actividad de las polimerasas RNA, las que son esenciales en la división celular (Mahan y Arlin, 1995; McDowell *et al.*, 1993). Su carencia provoca el bloqueo de la ADN polimerasa, dando lugar a la inhibición de la multiplicación celular y de la síntesis proteica (Mahan y Arlin, 1995).

Lo anterior hace que la proliferación celular no ocurra en ausencia de Zn, por lo que sistemas enzimáticos altamente proliferantes, como son el sistema inmune, nervioso, piel y reproductivo sean los indicadores más sensitivos de una deficiencia o un incremento en las concentraciones de este mineral (Rink y Gabriel, 2000).

Otra función descrita para el Zn, es la regulación de la muerte celular por apoptosis, la cual es un tipo de muerte celular, Cuyo objetivo es eliminar las células del huésped, que ya no son necesarias, a través de la activación de una serie coordinada y programada de acontecimientos internos (Cotran, 2000). Si falla la apoptosis, la eliminación de las células T y B se pierde, y disminuye la actividad de las células T citotóxicas y de las células natural "killer" (Rink y Gabriel, 2000), incluso puede modular el proceso apoptótico en los precursores de linfocitos (Fraker *et al.*, 2000).

El Zn además, modula la respuesta inmunitaria del huésped, a través de su participación en la proliferación y actividad fisiológica leucocitaria, manteniendo la función normal de las células natural "killer" y una deficiencia de Zn, genera en ellas una actividad no específica y una pérdida de su funcionalidad (Rink y Gabriel, 2000). También, el Zn, es necesario para la estructura y actividad de la hormona tímica, (timulina) existente en el plasma, que induce la diferenciación de las células T, junto con modular la liberación de otras células inmunes, por lo que una suplementación de Zn puede revertir los cambios atróficos generados en el timo por una deficiencia de este mineral (Rink y Gabriel, 2000).

La deficiencia de Zn, también afecta a otros sistemas, como el reproductivo, en el que se ve comprometida la espermatogénesis y el desarrollo de los órganos sexuales primarios y secundarios del macho y todas las fases reproductivas de la hembra, desde el estro hasta el parto y la lactancia, debido a su participación en el metabolismo de la hormonas testosterona, insulina, y los corticoides adrenales (McDowell *et al*., 1993).

Los signos de deficiencia de Zn son consecuencia de la disminución de una o varias de sus funciones biológicas, en la que la primera respuesta será una disminución en la ingesta alimentaria, siendo común la anorexia, y como consecuencia una reducción del crecimiento del animal, sin una aparente disminución de sus concentraciones tisulares. El mecanismo involucrado en este tipo de anorexia es complejo y entre sus posibles mecanismos causantes, se encuentra la liberación de opiáceos, de colecistocinina o de neuropéptido (Cousins y Hempe, 1997).

La deficiencia de Zn, también afectará el metabolismo óseo, con sus consecuentes alteraciones esqueléticas, debido a que inhibe la actividad de la somatomedina, encargada del crecimiento del cartílago, siendo su manifestación clínica más frecuente, la interrupción de la keratogenesis (Jackson, 1997). Además el Zn, es componente de las enzimas relacionadas con el metabolismo del calcio, por lo que también afecta el desarrollo del cartílago epifisiario y la síntesis de colágeno (Cousins y Hempe, 1991). Signos de deficiencia de Zn, han sido producidos en potrillos alimentados con 5 mg Zn/ Kg de dieta (NRC, 1989).

En potrillos, el déficit de Zn, ocasiona una disminución de la tasa de crecimiento, anorexia, lesiones cutáneas en las porciones dístales de las extremidades, alopecia, disminución de las concentraciones séricas de Zn, y de la actividad de la fosfatasa alcalina sérica (Alello, 2002), e incidencia creciente de osteocondritis disecante (OCD) (Duren, 1996; Ott y Asquit, 1989).

Los equinos son muy tolerantes al exceso de Zn en la dieta, como lo demuestran estudios en los que no se observaron efectos adversos en yeguas o potrillos alimentados

con hasta 700 mg Zn/kg de dieta. Pero potrillos alimentados con 90 g de Zn diarios, equivalente al 2% de la dieta, desarrollaron aumento en la epífisis, laminitis, y aumento de Zn en los tejidos (NRC, 1989). Signos similares fueron observados por Eamens *et al*., (1984), en 4 caballos jóvenes alimentados cerca de plantas industriales, en los que el suelo tenía altas concentraciones de Zn (Eamens *et al*., 1984 citado por NRC, 1989). La causa aparente fue por una deficiencia de Cu, debido al exceso de Zn (NRC, 1989)

2.9 COBRE (Cu)

El reconocimiento del Cu como elemento esencial para los vegetales y los animales procede de los primeros estudios realizados por McHargue (1927) en plantas y moluscos y los de Hart *et al* (1928) (O`Dell, 1991). Como resultado de una serie de estudios Hart y colaboradores, en la universidad de Wisconsin, descubrieron que es necesaria una pequeña cantidad de Cu junto con el Fe para la formación de la hemoglobina. El Cu no es un componente de la hemoglobina, pero se encuentra como hemocuperina en las células sanguíneas (Mainard, 1989). Tras las revisiones de Hoagland (1932) y otros en el decenio de 1930, se consideró establecida la naturaleza esencial del Cu (O`Dell, 1997).

Ha habido una considerable discusión referente a los requerimientos de Cu de los equinos en crecimiento, desde que Knight *et al* (1985), a través de estudios reportaron una correlación negativa entre las concentraciones de Cu dietarios en equinos destetados y la incidencia de problemas esqueléticos (Knight *et al.*, 1985 citado por Gee *et al*., 2000; Hintz, 1996; Weeren *et al.*, 2003). El NRC consideró estos estudios para sugerir mayores concentraciones dietarias de Cu que los que ellos recomiendan, pero decidió no aumentar sus requerimientos, manteniéndolos en una concentración de 10 mg/Kg en la dieta para equinos en mantención (Gee *et al*., 2000; Hintz, 1996; Weeren *et al.*, 2003).

Meyer (1994), recientemente sugirió un requerimiento de 10-12 mg/Kg en la dieta, pero el precisó que la atención se debe prestar para cubrir los requerimientos de Cu en los potrillos destetados que pastan en praderas que contienen bajas concentraciones de Cu. Estudios en potrillos, utilizando la composición corporal para estimar los requerimientos

de Cu no sugieren que 10 ppm de Cu en la ración, sean inadecuadas para equinos en crecimiento (Meyer, 1994 citado por Hintz, 1996).

En contraposición a la anterior estimación de los requerimientos, Jackson (1997) recomienda actualmente que los caballos en entrenamiento reciban 131, 170 y 187 mg/día de Cu en trabajo ligero, moderado y pesado respectivamente; debido a las pérdidas de Cu por el organismo; por ejemplo existe una pequeña cantidad de Cu que se pierde en el sudor no mayor a 4 mg/día, sin embargo, estas perdidas de Cu pueden llegar a ser 80-100 mg de Cu día (Jackson, 1997).

Los niveles de Cu en los pastos comúnmente oscilan, entre los 4,4 a 8,6 mg Cu/Kg de MS lo que aparentemente sería suficiente para un desarrollo saludable de los huesos y de los cartílagos (Weeren *et al*., 2003).

La disponibilidad del Cu presente en la mayoría de los alimentos para animales herbívoros, varía entre el 1% y 15%. Los granos poseen una menor cantidad de Cu que los forrajes (Berger, 1993).

En cuanto a las concentraciones de Cu en el organismo, éstas son más altas en hígado, cerebro, corazón y riñones. En el músculo su concentración es baja, pero debido a su gran masa contiene alrededor del 40% del total del Cu del organismo (Mahan y Arlin, 1995).

El hígado es el principal órgano de almacenamiento de Cu en el ganado doméstico, incluyendo al equino. Las concentraciones de Cu hepático varían con la especie y tipo de dieta, siendo las variaciones individuales altas en todas las especies animales. Durante la gestación el contenido de Cu total aumenta en el feto en todas las especies estudiadas, siendo la mayoría almacenada en el hígado fetal (Gee *et al*., 2000).

Las concentraciones de Cu hepático en los potrillos al nacimiento son de 374 ±130 mg/Kg MS declinando hasta alcanzar las concentraciones que se encuentran en el equino

adulto, a los 160 días de edad, correspondiente a un valor de 21 ± 6 mg/ Kg MS hepática (Gee *et al*., 2000).

El Cu se absorbe en todos los segmentos del tubo digestivo, aunque los lugares de absorción dependen de las especies, el duodeno es el principal de ellas, donde es absorbido por transporte activo y pasivo. La absorción oscila entre el 25 y 60% (Mahan y Arlin, 1995).

Al igual que el Zn, el Cu en el enterocito también se encuentra unido a una metalotioneína, (proteína de bajo peso molecular rica en cisteina y enlaces metálicos) (Bremen y Beattie, 1995). La captación del Cu por las células de la mucosa intestinal, no garantiza su posterior paso hacia la sangre, ya que cantidades variables son retenidas y pueden ser devueltas al lumen intestinal por las proteínas de estas células, especialmente metalotioneína. El Cu retenido por la metalotioneínas en los enterocitos se pierde cuando estas células se descaman (O`Dell, 1997).

Tras su absorción el Cu es transportado hacia el hígado unido con el aminoácido histidina y también unido a proteínas tales como las transcupreinas y albúminas plasmáticas (Emerick y Kayongo-Male, 1990).

Se presenta como poco probable el desplazamiento del Zn por el Cu, o *viceversa*, puesto que el Cu se une a la albúmina en un sitio distinto al del Zn; el Cu va unido específicamente a un terminal con un residuo de histidina. Además, la concentración de albúmina en el plasma excede ampliamente a la del Cu y Zn (Bremner y Beattie, 1995; Rink y Gabriel, 2000).

En el hígado, el Cu se almacena como tioneína, que es un complejo formado por una proteína pequeña, rica en cisteína llamada metalotioneína (Mahan y Arlin, 1995), o bien se incorpora en la ceruloplasmina que es una globulina sintetizada en el hígado y que transporta más del 70-90% del Cu presente en el plasma hacia los tejidos donde se sintetizan las cuproenzimas, tales como la citocromo c oxidasa (Milne, 1998). La

ceruloplasmina parece ser el único componente plasmático que lleva Cu de absorción reciente tras el depósito inicial en el hígado (O`Dell, 1991; Prohaska, 1990).

La bilis contiene cantidades importantes de Cu, en consecuencia, existe la posibilidad de su retención excesiva en las hepatopatías crónicas, que interfieren con la eliminación de bilis. La cirrosis biliar primaria y la obstrucción mecánica de los conductos biliares, también originan un aumento progresivo del Cu hepático (Mahan y Arlin, 1995).

Existen numerosos parámetros bioquímicos utilizados en el estudio del estado nutricional de Cu, a pesar que la concentración hepática de Cu es el mejor indicador del metabolismo cúprico (Jeffcott y Davies, 1998). También se ha utilizado como indicadores de Cu la actividad de la ceruloplasmina plasmática, la concentración de la enzima superoxido dismutasa y la actividad de las enzimas citocromo oxidasa y lysil oxidasa (Novelli *et al.*, 1993)

La forma más tradicional y común de medir los indicadores del estado de adecuación nutricional cúprico, son las concentraciones plasmáticas de éste mineral, excepto en casos de severas restricciones de Cu. Bajas concentraciones plasmáticas de Cu, son consecuencias de deficiencias nutricionales de este metal tanto en humanos como en animales, y por lo general depleciones de las reservas o almacenamiento del Cu (Milne, 1998).

Bajo condiciones normales, las concentraciones plasmáticas de Cu son reguladas por fuertes mecanismos homeostáticos (Milne, 1998). Estos a su vez, son regulados por el aporte de Cu dietario, ya que ante períodos de restricción de Cu dietarios, mejora la eficiencia de su absorción, aumentando también los mecanismos de conservación a través de un cambio en la expresión de los genes responsables de la alteración de Cu disponible (Levenson, 1996), lo que indica la existencia de algún tipo de regulación endógena, respondiendo a las necesidades del animal (O`Dell, 1991).

La excreción de Cu vía urinaria, es escasa, y la mayor parte se realiza por vía fecal, tras ser devuelto al intestino, ya sea, vía biliar, saliva, jugos gástrico, pancreático e intestinal, siendo la bilis el principal componente del Cu endógeno fecal. La eliminación biliar aumenta de manera importante cuando hay una sobrecarga de Cu (O'Dell, 1997).

Si es necesario, el riñón puede conservarlo cuando se filtran cantidades importantes a través del glomérulo, reabsorbiéndose en los túmulos renales (Mahan y Arlin, 1995).

La reabsorción renal se disminuye cuando se incrementan los niveles de otros cationes bivalentes en la dieta, como el Ca, Mg, Ni, Cd y Fe (Prohaska, 1990).

La conservación de Cu en el organismo es de suma importancia por ser un componente esencial de varias metaloenzimas, entre las cuales están: citocromo oxidasa, lisil oxidasa, superoxido dismutasa, dopamino -B- hidroxilasa y tirosinasa (McDowell *et al*., 1993) las que están involucradas en la síntesis y mantenimiento del tejido conectivo elástico, movilización del Fe almacenado en el hígado, preservación de la integridad mitocondrial, síntesis de melanina y detoxificación de superoxido. Cambios en el metabolismo de este metal generaran alteraciones en estas enzimas (Duren, 1996; NRC, 1989; Prohaska, 1990).

La química de oxido reducción de este elemento lo hace especialmente adecuado para liberar y aceptar electrones al oxígeno molecular. Por tanto, muchas de las reacciones de transferencia de electrones y de oxidación-reducción son catalizadas en los sistemas orgánicos por las enzimas anteriormente citadas (Fascetti y Morris, 2002).

La citocromo c oxidasa y sus coenzimas citocromo c están en todas las células vivas, en cuya respiración intervienen. La respiración refleja la liberación y utilización del oxígeno molecular de forma que los carburantes (carbohidratos, grasas y aminoácidos) pueden ser oxidados, generando energía para la célula. La mayor parte de la energía celular se mantiene transitoriamente en forma de ATP derivado de la fosforilación oxidativa que afecta a la cadena de transporte de electrones de las mitocondrias, cuyos componentes

terminales son la citocromo c oxidasa. Por tanto, como sucede con la mayor parte de las demás enzimas cúpricas, la citocromo c oxidasa es el lugar de captación y reducción del oxígeno molecular. A nivel celular su deficiencia se traduce en una reducción de la capacidad para llevar a cabo la respiración y la fosforilación oxidativa, por tanto, es una deficiencia en el suministro de energía, ello trae consigo una disminución de diversas actividades celulares, las que van desde el trasporte activo a la transcripción, traslación y otros procesos de biosíntesis (O´Dell, 1991). Incluso en los casos de deficiencia moderadas de Cu, se reduce la actividad de la citocromo c oxidasa de las células de varios órganos, especialmente del hígado y del corazón, la que produciría en general, un aumento de la fragilidad de las membranas celulares, ya que los lípidos insaturados de la periferia celular son especialmente vulnerables a la lesión oxidativa (Cockell y Belonje, 2002).

El Cu es almacenado en el hígado, en consecuencia su deficiencia se presenta con lentitud (Mahan y Arlin, 1995).

Restricciones perinatales de Cu generan defectos en el desarrollo normal y conservación de ciertos mecanismos. Esto es particularmente importante ya que evidencias recientes mostraron que ratas sometidas a deficiencias dietarias de Cu durante este periodo, arrojaron alteraciones en patrones neuroquímicos y conductuales, aún cuando otros índices del estado cúprico aparecían normales (Levenson, 1988).

En relación con el sistema inmunológico, la deficiencia de Cu afecta las células T y B, los neutrófilos y los macrófagos. Por lo tanto, reduce la cantidad de células que producen anticuerpos (McDowell *et al*., 1993).

Es de especial interés el rol biológico del Cu en el equino, debido a su relación con el “síndrome ortopédico del desarrollo” (Gee *et al*., 2000). El mecanismo sugerido es el rol que cumpliría el Cu como parte de la enzima lisil oxidasa del tejido conjuntivo, la cual es crucial para la formación de las uniones de piridolina entre las fibras de colágeno (Jackson, 1997; Rucker *et al*., 1998; Weeren *et al*., 2003)

El posible rol propuesto fue basado en estudios epidemiológicos, en los cuales se demostró la relación entre la incidencia de varias enfermedades ortopédicas, incluida OC con una baja contenido de Cu dietario (Gee *et al*., 2000; Duren, 1996; Weeren *et al.*, 2003), las que no afectaban el normal crecimiento del equino, pero sí comprometían el desarrollo normal del hueso y cartílago (Duren, 1996; Ott y Asquit, 1989). El resultado final son equinos con fragilidad ósea, debido a una disminución de la densidad de los huesos, la que determina osteocondritis disecante (OCD) (Duren, 1996; McDowell *et al*., 1993).

Corroborando lo anterior, observaciones clínicas y estudios experimentales en equinos han demostrado que se ha producido osteocondrosis en potros alimentados con una dieta que contenía 1,7 mg /Kg de Cu. Hutrig *et al*., (1993), alimento a 18 potros con dietas que contenían entre 8 y 25 ppm de Cu, concluyendo que existe una relación entre las bajas cantidades de Cu ingeridos en caballos de rápido crecimiento y las lesiones de osteocondrosis (Hutrig *et al*., 1993 citado por Hintz, 1996; Weeren *et al.*, 2003).

El Cu fue el primer mineral en señalarse como potencial causante de osteocondrosis (OC), ya que se vieron lesiones parecidas a OC en potrillos con deficiencias en Cu. Este mismo autor, tuvo éxito induciendo lesiones en el cartílago de potrillos alimentados con dietas deficitarias en Cu (Weeren *et al.*, 2003).

La relación entre este mineral y las patologías óseas es compleja, afectándose también ante una deficiencia de Cu la formación de los huesos por disminución de la actividad de los osteoblastos, lo que significa retardo en la formación de la matriz orgánica ósea induciendo problemas esqueléticos (O`Dell, 1991).

Por último como consecuencia de su rol en el funcionamiento y la formación del tejido conjuntivo, incluso en la reparación de las lesiones y en el mantenimiento de la integridad de los vasos sanguíneos; la alteración en la unión cruzada del colágeno y elastina ante una deficiencia de Cu, acaba por producir una enfermedad vascular con ruptura de los principales vasos sanguíneos (Jackson, 1997; Rucker *et al*., 1998).

Trabajos recientes mostraron que el Cu dietario era más efectivo en reducir la severidad de OCD, si era dado a yeguas en gestación tardía que en potrillos después de su nacimiento (Gee *et al*., 2000; Weeren *et al.*, 2003). Confirmando esta afirmación Pearce *et al* (1998), señalan que suplementaciones orales de Cu en yeguas durante su período de gestación tardía (0.5 mg/Kg diario) reducen las evidencias radiológicas y patológicas de fisitis y lesiones del cartílago articular en potrillos (Pearce *et al*., 1998 citado por Gee *et al*., 2000; Weeren *et al.*, 2003).

Estos trabajos podrían basarse en los estudios realizados por Weeren *et al* (2003), quienes llegaron a la conclusión que la concentración plasmática del Cu al nacimiento, era uno de los factores que determinan la incidencia de estas lesiones esqueléticas, previniendo además la severidad de estas lesiones al evitar que se manifiesten clínicamente.

Si por el contrario, nos referimos a las altas ingestiones de Cu dietario, los equinos resultan ser relativamente tolerantes a las dietas con alto contenido de Cu. Estudios realizados en yeguas y pony, los que fueron alimentados con 791 mg de Cu/ Kg de dieta durante 183 días, solo presentaron elevadas concentraciones de Cu hepáticas, pero no se observaron signos clínicos en las yeguas o en sus potrillos. También dosis únicas de 20-40 mg/Kg de peso (como sulfato de Cu) suministradas oralmente a pony adultos, no produjeron efectos adversos. El NRC (1989) recomienda un máximo nivel tolerable de Cu para caballos de aproximadamente 800 mg/Kg dieta (NRC, 1989).

3. HIPÓTESIS

Las yeguas y sus crías responden mejor a la suplementación dietaria de Cu y Zn, cuando estos son suministrados en forma orgánica, alcanzando mayores concentraciones plasmáticas de estos minerales, en comparación con yeguas suplementadas con Cu y Zn suministrados en forma inorgánica.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

-Evaluar el efecto de la suplementación dietaria de Cu y Zn suministrado en dos formas químicas distintas en yeguas durante sus tres últimos meses de gestación y en sus potrillos hasta los 30 días de edad.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

-Evaluar el grado de adecuación de las concentraciones plasmáticas de Cu y Zn, en yeguas en sus tres últimos meses de gestación y la de sus potrillos hasta los 30 días de edad, suplementados con Cu y Zn suministrado en dos formas químicas distintas.

-Evaluación de los costos de ambos suplementos vitamínico mineral.

5. MATERIAL Y METODOS

5.1 MATERIALES

Lugar

El presente estudio se realizó en un Haras, ubicado en Calera de Tango; Región Metropolitana.

Animales

Se seleccionaron 24 yeguas F.S.C. que estaban en sus 3 últimos meses de gestación, y al nacimiento de los potrillos estos fueron incorporados al ensayo, formándose los siguientes grupos:

Grupo I: 12 Yeguas gestantes suplementadas con Cu y Zn orgánico (25% Cu y 25,7% Zn de forma orgánico y el resto de forma inorgánica).

Grupo II: 12 Yeguas gestantes suplementadas con Cu y Zn inorgánico.

Grupo III: 12 Potrillos hasta los 30 días de edad cuyas madres fueron suplementadas con Cu y Zn orgánico (25% Cu y 25,7% Zn de forma orgánico y el resto de forma inorgánica).

Grupo IV: 12 Potrillos hasta los 30 días de edad cuyas madres fueron suplementadas con Cu y Zn inorgánico.

Alimentación de las yeguas:

Durante el periodo de estudio, en el día, las yeguas se mantuvieron a pastoreo directo de una pradera mixta de alfalfa, chépica y ballica, y durante las noches, fueron alojadas en pesebreras individuales, donde recibieron: 3 Kg de avena; 4 Kg de heno de alfalfa y 30 gr del respectivo suplemento vitamínico mineral formulado para este ensayo (Tabla Nº 1).

TABLA Nº 1

Composición del Suplemento Vitamínico Mineral suministrado a las yeguas en estudio (cantidad/ 3 Kg.).

SUPLEMENTO VITAMINICO MINERAL			
Vitaminas	**Inorgánico**	**Orgánico**	
		Inorgánico	Orgánico
A (UI)	1,000,000	1,000,000	
D3 (UI)	500,000	500,000	
E (UI)	50,000	50,000	
B1 (mg)	3,000	3,000	
B2 (mg)	2,200	2,200	
B6 (mg)	1,000	1,000	
B12 (mg)	2,000	2,000	
C (mg)	3,000	3,000	
Ac. Fólico (mg)	150	150	
Ac. Pantoténico (mg)	1000	1000	
Lisina (g)	15	15	
Niacina (mg)	100	100	
Excipiente			
Minerales			
Calcio (g)	0	0	
Cloruro de Sodio (g)	35	35	
Cobalto (mg)	100	100	
Cobre (g)	18	13,5	4,5
Cromo (mg)	0	0	
Fósforo (g)	200	200	
Hierro (g)	40	40	
Magnesio (g)	80	80	
Manganeso (g)	40	31	9
Selenio (mg)	300	300	
Yodo (g)	300	300	
Zinc (g)	70	52	18
Bio-plex ZMC (g)		225	

5.2 METODOS.

Muestras de sangre:

El muestreo sanguíneo se realizó al inicio del tercio final de su gestación (tiempo cero) y continuó cada 15-20 días hasta el término de su gestación, obteniéndose un total de 6 muestreos para cada yegua. También en los potrillos, se determinaron las concentraciones sanguíneas de estos dos microminerales, en dos muestreos de sangre, el primero de los cuales, se realizó alrededor de los 10 a 15 días de edad y el 2º entre los 25 y 30 días.

Las muestras de sangre fueron obtenidas por punción yugular, las que fueron recibidas en tubos Vacuntainer® de 10 ml que contenían anticoagulante (heparina 0,2 mg/ml), las que fueron refrigeradas y transportadas al laboratorio de Nutrición Animal, de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad de Chile, donde fueron centrifugadas a 790 g por 15 minutos, para separar el plasma de los elementos figurados.

La determinación de las concentraciones plasmáticas de Cu y Zn se realizó mediante una lectura directa, empleando técnicas de espectrofotometría de absorción atómica descritas por la AOAC (1995), utilizando un equipo GBS modelo 905 AA.

Tabla Nº 2

Rangos de concentraciones plasmáticas del cobre y zinc en el equino aceptadas como normales por la literatura especializada (mg/dl).

Concentraciones plasmáticas	Cobre		Zinc	
	Wichert *et al*	Puls	Wichert *et al*	Puls
Deficientes	*	0,06-0,8	*	< 0,5
Rangos normales	0,5-1,5	0,85-2,00	0,6-1,2	0,60-1,70

* Fuente: PULS, 1988.
WICHERT *et al.*, 2002a

Muestras de alimento:

Junto con el muestreo sanguíneo, se tomaron muestras del Suplemento vitamínico mineral y los diferentes alimentos que consumían las yeguas; es decir concentrado, heno de alfalfa y pradera verde, de la cual se tomaron muestras al comienzo y final del estudio, los que fueron analizados en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad de Chile para la determinación de materia seca (MS), fibra cruda (FC), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), cenizas (cen) y por diferencia se calculó el Extracto no Nitrogenado (ENN), para lo cual, se utilizaron las respectivas metodologías analíticas descritas por la AOAC (1995).

Los contenidos de los minerales Cobre (Cu), Zinc (Zn), Calcio (Ca) y Fósforo (P), fueron determinados a partir de las cenizas obtenidas de acuerdo al siguiente procedimiento: las muestras de alimentos, fueron incineradas a 550° C en una mufla, durante 8 hrs. para obtener las cenizas, a las que se les realizo una digestión ácida con HCl para solubilizarlas y posteriormente fueron aforadas a volúmenes conocidos.

Suplemento Vitamínico-Mineral

El suplemento vitamínico mineral entregado a las yeguas contenía 6 gr de Cu/ Kg y 23,3 gr de Zn/Kg de suplemento y recibieron diariamente 30 gr del suplemento vitamínico mineral descrito en el anexo Nº 1 los que aportaron 180 mg y 700 mg de Cu y Zn, respectivamente.

Estos minerales fueron entregados a las yeguas del grupo I bajo la forma orgánica, e inorgánica, siendo la primera forma, el 25% y 25,7 % del Cu y Zn total respectivamente. La forma orgánica utilizada fue el producto Bioplex ZMC®: en el que el respectivo mineral se encuentra unido al aminoácido metionina.

Al grupo II de yeguas, el suplemento vitamínico mineral fue entregado de forma inorgánica, en los cuales el Cu y el Zn estaban como sulfato y oxido, respectivamente.

Las cantidades de Cu y Zn aportadas por el suplemento vitamínico mineral, (Anexo Nº 1) cubrían los requerimientos dietarios diarios descritos para estos dos minerales (NRC, 1989).

Tabla Nº 3

Requerimientos dietarios de Cu y Zn, establecidos por el NRC[a] según la condición fisiológica de los equinos (mg/Kg), base seca en la ración.

	CONDICIÓN FISIOLÓGICA			
	Mantención	yeguas preñadas y en lactancia	equino en crecimiento	equino en trabajo
Cu (mg/kg)	10	10	10	10
Zn (mg/kg)	40	40	40	40

[a] Fuente: National Rsearch Council. 1989. Nutrient requerimients of horses fifth Revised Edition. ed National academy press. Washington, DC.

5.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO:

Las concentraciones plasmáticas de Cu y Zn fueron descritas a través del promedio (X), desviación estándar (D.E.), coeficiente de variación (C.V.).

El tamaño muestreal fue determinado utilizando la información generada anteriormente en trabajos realizados en la Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias sobre la adecuación nutricional mineral de potrillos Fina Sangre criados en haras de la zona central del país (Carvajal *et al*., 2002).

Para detectar una diferencia estandarizada entre ambos tipos de suplementos vitamínico- minerales igual a 0,1 (DE = 0,054) y con una potencia de 95% fue necesario utilizar un tamaño mínimo muestreal de 11 yeguas. En este estudio se utilizó un n = 12 yeguas.

Para describir las concentraciones plasmáticas de Cu y Zn a través del tiempo luego de la suplementación, se utilizó un modelo de regresión que describe los datos utilizando ajustes lineales y polinomiales.

El modelo de regresión general es:

$$y = b_o + b_1 X + b_2 X^2 + b_n X^n + \varepsilon$$

Donde:

***y*:** Mediciones de los minerales traza Cu y Zn en el tiempo $x_1, x_2 \ldots x_k$.

b_0: intercepto.

$b_1, b_2 \ldots b_n$: Coeficiente de regresión de los minerales traza Cu y Zn sobre el tiempo de medición.

$x, x^2 \ldots x^n$: Tiempo de medición elevado a n.

ε: Efecto residual.

Para medir la heterogeneidad de las funciones ajustadas a cada mineral se realizó un análisis de covarianza, el cual ajusta la interacción entre los parámetros que explican la tendencia a través del tiempo y de los distintos tratamientos. Para realizar este análisis se empleo un programa computacional estadístico "Statistical Analisys System" (SAS).

6.- RESULTADOS.

6.1.1 Yeguas

En las Tablas Nº 4 y 5, se entregan las concentraciones plasmáticas promedios de Zn y Cu (mg/dl) obtenidas en los sucesivos muestreos sanguíneos, realizados en el transcurso del ensayo, en ambos grupos de yeguas, respectivamente.

Además, cada tabla es acompañada de su respectivo gráfico, los que describen el comportamiento del Cu y Zn plasmático, a través del tiempo.

Incluyéndose finalmente el correspondiente gráfico que representa el modelo de regresión de cada uno de los dos tratamientos.

Tabla Nº 4

Concentraciones promedios plasmáticas de Zn en los diferentes muestreos de ambos grupos de yeguas (mg/dl).

CONCENTRACIONES PLASMÁTICAS DE Zn DE LAS YEGUAS EN ESTUDIO (mg/dl)		
Muestreo Sanguíneo	**Zn orgánico**	**Zn inorgánico**
1º	0,38 ± 0,04 A, a	0,35 ± 0,05 A, a
2º	0,41 ± 0,05 A, b	0,36 ± 0,05 A, b
3º	0,41 ± 0,06 A, c	0,42 ± 0,06 A, c
4º	0,49 ± 0,05 A, d	0,51 ± 0,11 A, d
5º	0,55 ± 0,07 A, e	0,54 ± 0,10 A, e
6º	0,51 ± 0,09 A, f	0,48 ± 0,90 A, f

A,B: letras diferentes indican diferencias significativas entre grupos ($p \leq 0,05$)
a,b: letras diferentes indican un aumento con una tendencia polinomial significativa a través del tiempo ($p \leq 0,05$)

Grafico Nº 1

Variaciones de las concentraciones plasmáticas de Zn durante el transcurso del ensayo en ambos grupos de yeguas (mg/dl).

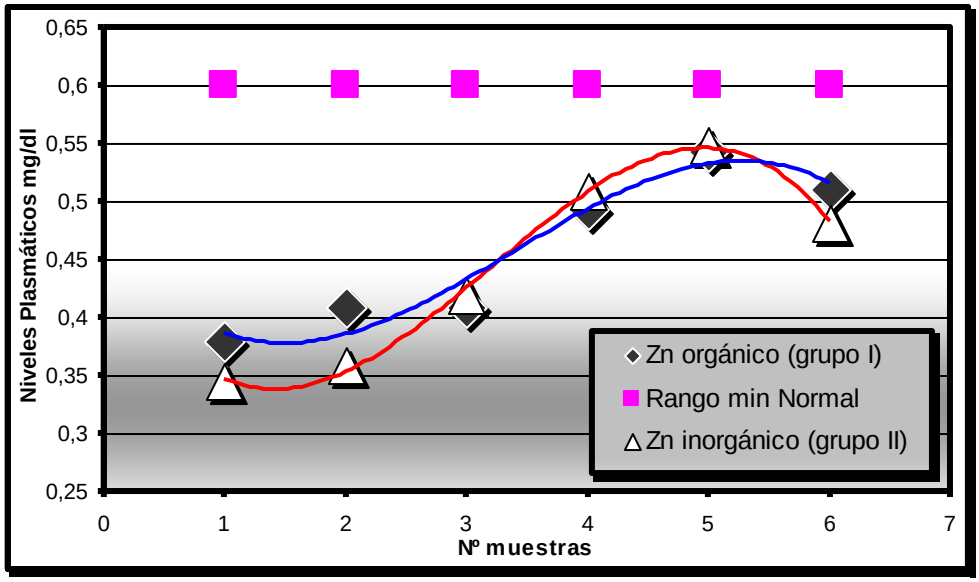
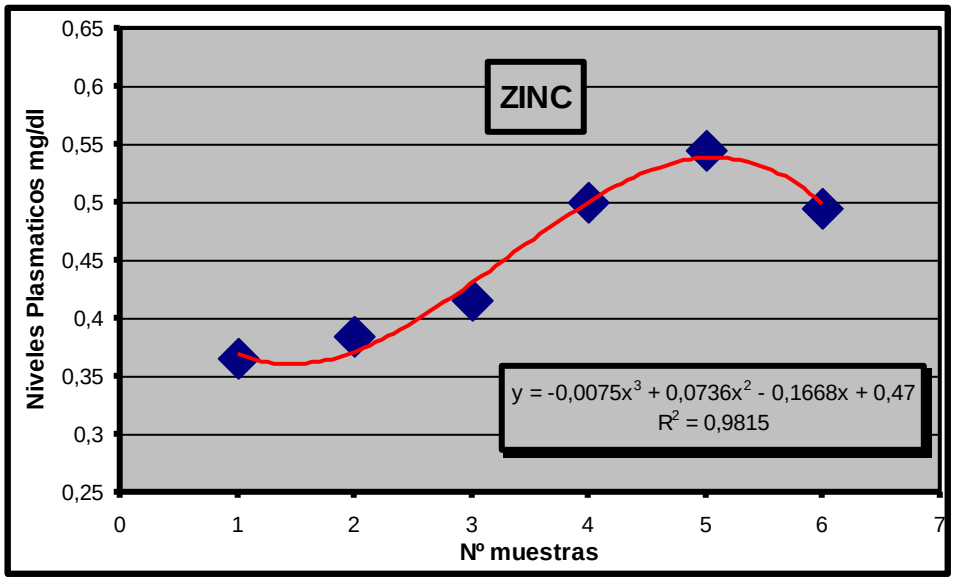


Grafico Nº 2:

Promedio del muestreo sanguíneo de Zn de ambos grupos de yeguas cuyo modelo explica la tendencia polinomial.



La concentración plasmática de Zn en el primer muestreo; es decir, el correspondiente al tiempo cero, mostró que estas eran deficitarias en las yeguas de ambos grupos y no significativamente distintas entre sí ($p > 0,05$)

La suplementación con ambas formas químicas del Zn, produjo, un aumento de la concentración plasmática de Zn, el que de una concentración inicial de 0,38 y 0,35mg/dl, se incrementó gradualmente, hasta alcanzar concentraciones de 0,51 y 0,48 mg/dl al final del período experimental en los grupos de yeguas suplementadas con Zn orgánico e inorgánico, respectivamente, en ningún momento las concentraciones plasmáticas de ambos grupos de yeguas alcanzaron el valor mínimo del rango de concentraciones plasmáticas de Zn (0,6 mg/dl), aceptadas como normales para equinos por la literatura especializada. (Puls, 1988).

La velocidad de la respuesta a la suplementación dietaria de Zn, medida a través de los aumentos en su concentración plasmática, fue diferente en ambos grupos de yeguas; es así que, en el grupo de yeguas que recibieron la suplementación con Zn orgánico, se observó un aumento de su concentración plasmática, a partir de la primera semana experimental; a diferencia, en el grupo de yeguas, suplementado con el Zn inorgánico, el aumento de sus concentraciones plasmáticas, solo ocurrió a partir de la segunda semana experimental.

Este incremento de la concentración plasmática del Zn, fue significativo a través del tiempo ($p \leq 0,05$), ajustándose a un modelo polinomial de tercer orden. A pesar de esta tendencia significativa a través del tiempo, no se observó heterogeneidad para cada uno de los parámetros que explican la función polinomial de mejor ajuste ($p > 0,05$). Es decir, no existieron diferencias significativas entre las yeguas suplementadas con Zn orgánico en comparación con el inorgánico.

Tabla Nº 5.

Concentraciones promedios plasmáticas de Cu en los diferentes muestreos de ambos grupos de yeguas (mg/dl).

CONCENTRACIONES PLASMÁTICAS DE Cu		
Muestreo Sanguíneo	Cu orgánico	Cu inorgánico
1º	0,78 ± 0,08 A, a	0,75 ± 0,14 A, a
2º	0,77 ± 0,09 A, b	0,76 ± 0,17 A, b
3º	0,80 ± 0,10 A, c	0,79 ± 0,16 A, c
4º	0,82 ± 0,11 A, d	0,81 ± 0,15 A, d
5º	0,81 ± 0,15 A, e	0,76 ± 0,14 A, e
6º	0,82 ± 0,16 A, f	0,85 ± 0,17 A, f

A,B: letras diferentes indican diferencias significativas entre grupos ($p \leq 0,05$)
a,b: letras diferentes indican un aumento con una tendencia polinomial significativo a través del tiempo ($p \leq 0,05$)

Grafico Nº 3

Variaciones de las concentraciones de Cu plasmáticas durante el transcurso del ensayo en ambos grupos de yeguas (mg/dl).

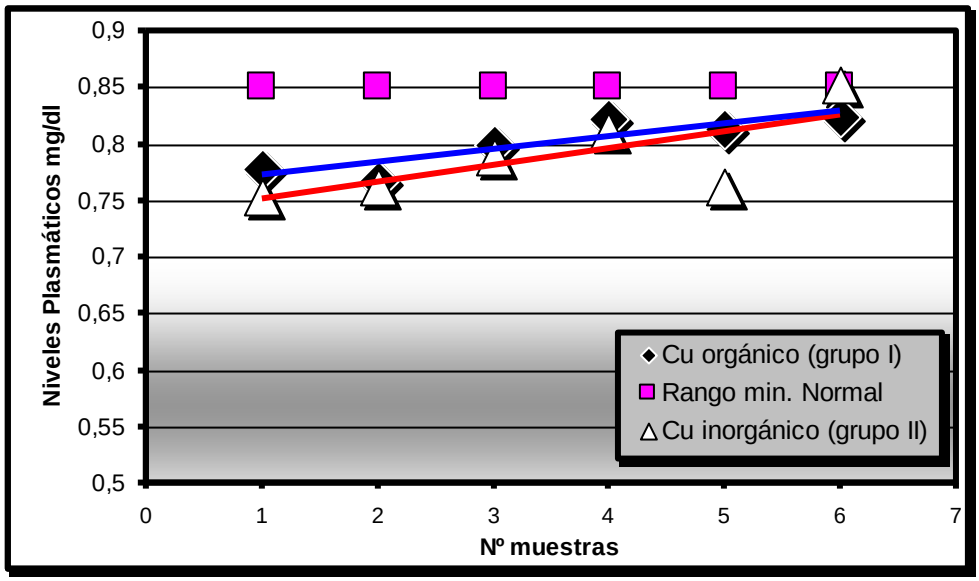
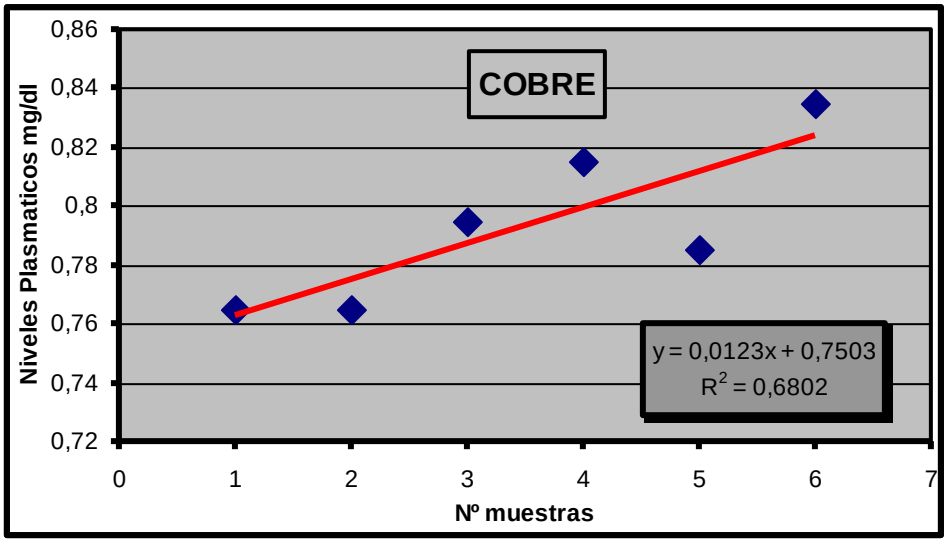


Gráfico Nº 4

Promedio del muestreo sanguíneo de Cu de ambos grupos de yeguas cuyo modelo explica la tendencia lineal.



La concentración plasmática promedio inicial del Cu, en ambos grupos, fue inferior a los rangos aceptados como normales para esta especie (Puls, 1988) presentando ambos grupos concentraciones semejantes entre sí ($p > 0,05$).

La suplementación con Cu en sus dos formas químicas, produjo un aumento gradual y significativo ($p \leq 0,05$) de las concentraciones plasmáticas de este mineral a través del tiempo, siguiendo una tendencia lineal; sin embargo, en el 5º muestreo ocurrió una ligera disminución de las concentraciones plasmáticas en ambos grupos, para posteriormente en el 6º muestreo aumentar nuevamente y en el grupo de las de las yeguas suplementadas con el Cu inorgánico alcanzó el mínimo del rango aceptado como normal por la literatura especializada (Puls,1988).

El análisis de covarianza para medir la heterogeneidad de la regresión lineal entre ambas suplementaciones, mostró que ambas líneas no se diferenciaron estadísticamente ($p>0,05$). Por lo tanto, al igual que lo que se observó para el Zn, para el cobre tampoco existieron diferencias significativas entre ambas formas químicas minerales de suplementacion.

6.1.2 Potrillos

En las Tablas Nº 6 y 7, se entregan las concentraciones plasmáticas de Zn y Cu (mg/dl) obtenidas en los muestreos sanguíneos de los potrillos, de las madres que fueron suplementadas con las formas inorgánicas y orgánicas, durante el ensayo. Además, se incluye, el respectivo gráfico, que contiene una comparación de las concentraciones plasmáticas promedios de Cu y Zn (mg/dl) a los 15 y 30 días de edad de los potrillos.

Tabla Nº 6

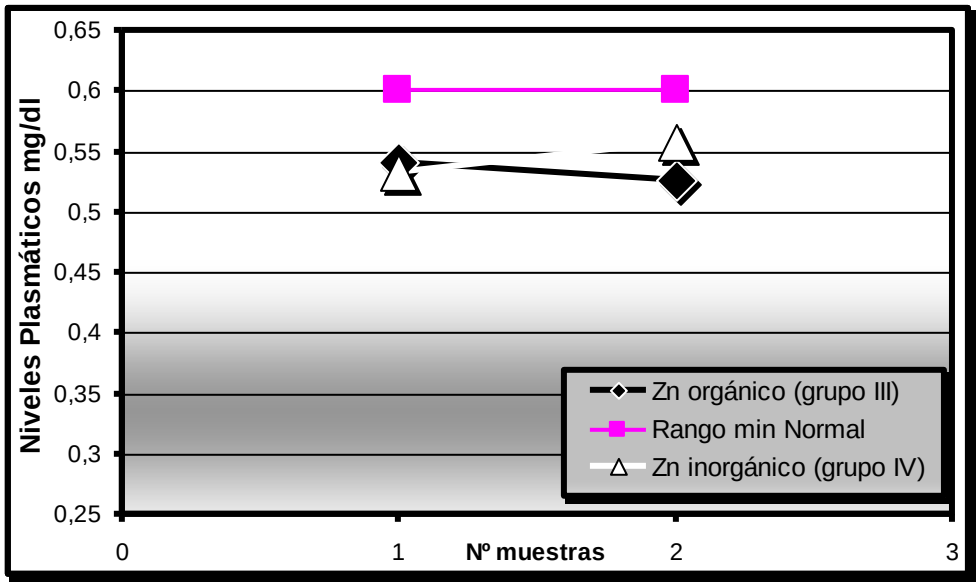
Concentraciones plasmáticas promedios de Zn de los potrillos de ambos grupos de madres (mg/dl).

CONCENTRACIONES PLASMÁTICAS DE Zn DE LOS POTRILLOS EN ESTUDIO (mg/dl)		
Muestreo Sanguíneo	**Zn orgánico**	**Zn inorgánico**
1º	0,54 ± 0,08 A, a	0,53 ± 0,10 A, a
2º	0,53 ± 0,15 A, a	0,56 ± 0,16 A, a
Promedio ± DE	0,53 ± 0,12	0,54 ± 0,13

A,B: letras diferentes indican diferencias significativas entre grupos ($p\leq0,05$)
a,b; letras diferentes indican diferencias significativas entre muestreos para un mismo grupo ($p\leq0,05$)

Grafico Nº 5

Concentraciones plasmáticas promedios de Zn a los 15 y 30 días de edad de potrillos de ambos grupos de yeguas (mg/dl).



No se observaron diferencias significativas (p>0,05) entre las concentraciones plasmáticas de Zn entre ambos grupos de potrillos, las que fueron inferiores al rango de concentraciones aceptadas como normales, que entregan un valor mínimo de concentración plasmática de 0,6 mg/dl (Puls; 1988).

Sin embargo, las concentraciones plasmáticas de Zn de los potrillos provenientes de las yeguas que fueron suplementadas con la forma inorgánica de Zn, tendieron a aumentar en el 2º muestreo, a diferencia, los potrillos provenientes de las yeguas suplementadas con el Zn orgánico, se observó una tendencia opuesta; es decir, las concentraciones plasmáticas de Zn disminuyeron en el 2º muestreo sanguíneo. Estos cambios no fueron significativos (p>0,05) para ambos grupos de potrillos.

Tabla Nº 7

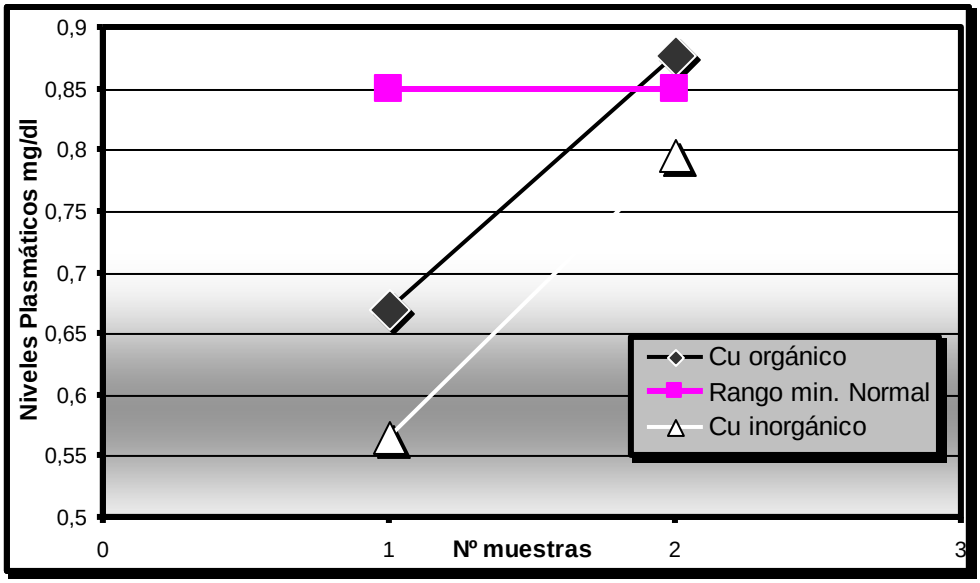
Concentraciones plasmáticas promedios de Cu de los potrillos provenientes de ambos grupos de yeguas (mg/dl).

CONCENTRACIONES PLASMÁTICAS DE Cu DE LOS POTRILLOS EN ESTUDIO (mg/dl)		
Muestreo Sanguíneo	**Cu orgánico**	**Cu inorgánico**
1º	0,67 ± 0,25 A, a	0,56 ± 0,24 A, a
2º	0,88 ± 0,21 A, b	0,79 ± 0,18 A, b
Promedio ± DE	0,77 ± 0,25	0,68 ± 0,24

A,B: letras diferentes indican diferencias significativas entre grupos ($p \leq 0,05$)
a,b; letras diferentes indican diferencias significativas entre muestreos para un mismo grupo ($p \leq 0,05$)

Grafico Nº 6

Concentraciones plasmáticas promedios de Cu a los 15 y 30 días de edad de potrillos provenientes de ambos grupos de yeguas (mg/dl).



No hubo diferencias significativas ($p>0,05$) de las concentraciones plasmáticas de Cu entre ambos grupos de potrillos; y fueron inferiores a las concentraciones aceptadas como normales. Se puede destacar que existió un aumento significativo ($p\leq0,05$) en los niveles plasmáticos promedios de Cu al 2º muestreo, en ambos grupos de potrillos, llegando en los potrillos provenientes de las yeguas suplementados con el Cu orgánico, a una concentración de 0,88 mg/dl la que es aceptada como mínima normal para los potrillos (Puls, 1988).

6.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA PROXIMAL Y CONTENIDO MINERAL DE LOS ALIMENTOS.

En la tabla Nº 8 y 9, se entrega la composición química proximal y el contenido de los minerales Ca, P, Cu y Zn de los diferentes alimentos voluminosos y concentrados utilizados en la alimentación de las yeguas durante el período del ensayo.

Tabla Nº 8

Resultados del Análisis Químico Proximal y minerales de los diferentes alimentos utilizados en la alimentación de las yeguas (% base seca).

	Análisis Químico Proximal					MINERALES			
	PC%	EE%	FC%	Cen%	ENN%	Ca%	P%	Cu%	Zn%
Pasto Fresco I	16,9	2,62	23,4	15,7	40,7	0,73	0,24		
Alfalfa	17,07	1,39	16,8	25,77	38,88	1,83	0,14		
Avena	12,51	4,17	8,89	2,19	72,22	0,11	0,22		
Pasto Fresco II	12,84	1,74	26,22	13,97	45,26	0,64	0,48		
Sup Min Org.						1,1	11,2	0,74	2,7
Sup Min Inorg.						0,71	10,02	0,72	2
*	10					0,43	0,32		

Tabla Nº 9

Contenido de Cu y Zn en los diferentes alimentos utilizados en la alimentación de las yeguas (mg/kg MS).

	MINERALES	
	Cu mg/kg	Zn mg/kg
Pasto Fresco I	10,7	31,7
Alfalfa	11	36,4
Avena	5,2	32,3
Pasto Fresco II	8,3	28
*	10	40

*concentración nutricional en total de la dieta en yeguas a los 10 meses de gestación. Fuente: National Rsearch Council. 1989. Nutrient requerimients of horses fifth Revised Edition. ed National academy press. Washington, DC.

La 1º muestra de pasto fresco se saco al principio del estudio (jun-jul) y la 2º muestra de pasto fresco sacada al final del estudio (Sep- Oct).

Si comparamos los resultados obtenidos en el análisis de los minerales en los insumos dados a las yeguas de este estudio con la composición química de los alimentos utilizados en la alimentación equina que se entregan en tabla de requerimientos nutritivos del equino (NRC, 1989) podemos darnos cuenta que nuestros insumos tienen un menor aporte de Cu y Zn dietario. Es difícil hacer esta comparación tomando como base una tabla

del NRC, debido a que existen muchos factores que puede hacer variar estos valores, como el número del corte y el estado fenológico, entre otros.

En cuanto al suplemento vitamínico mineral este se analizó comparando sus resultados con los datos dados por la empresa que realiza la premezcla (anexo N° 1), se comprobó que tanto el Cu como el Zn se encuentran en el suplemento en concentraciones acordes a las entregadas por esta empresa, existiendo una diferencia de Ca y P (tabla N° 9) los cuales se encuentran presentes en el suplemento en concentraciones mayores, pudiendo ser explicado por una contaminación del suplemento vitamínico mineral en cualquiera de sus fases de elaboración.

6.3 RESULTADOS DEL BALANCE ECONÓMICO DEL SUPLEMENTO

Tabla Nº 10

Evaluación de los Costos de las dos formas químicas de suplementación en las yeguas en estudio.

Balance económico del suplemento vitamínico mineral		
COSTOS Calculados	**Suplemento Inorgánico**	**Suplemento Orgánico**
1 Kg	$975	$2.437
saco de 25 Kg.	$24.375	$60.925
suplemento/yegua/día	$29,25	$73,11
suplemento/yegua/31 días	$907	$2.266

Al analizamos los costos del suplemento vitamínico mineral inorgánico versus orgánico podemos observar que este último tiene un valor por kilo de $ 2.437, lo que corresponde a más de el doble que el inorgánico. Si tomamos en cuenta que no hubo diferencias significativas en la suplementación de yeguas entre ambas fuentes de Cu y Zn en este estudio, resulta importante evaluar el costo/beneficio de ambas dietas según los resultados obtenidos, más aun si llevamos este análisis económico al costo que tiene un haras al suplementar una yegua en un mes, siendo el costo de suplementación orgánica mensual por yegua de $ 2.266 considerablemente más alto que la suplementación inorgánica mensual por yegua, que es de $ 907.

7.- DISCUSIÓN

Estudios nacionales sobre la evaluación nutricional mineral de potrillos F.S.C. criados en distintos haras de la zona central del país, demuestran la existencia de marcadas deficiencias de Cu y Zn plasmáticos (Carvajal *et al*., 2002). Esto llevo a buscar distintas

alternativas tecnológicas para encontrar la mejor solución en cuanto a la óptima adecuación nutricional mineral de los equinos en sus diferentes estados fisiológicos productivos.

El uso de suplementos minerales, que entre otros incorporan Cu y Zn, es una práctica habitual en el manejo alimentario del equino (Jackson, 1997), ya que es sabido que estos minerales tienen un importante rol metabólico en el normal desarrollo óseo de estos ejemplares (Gee *et al.,* 2000; Jackson,1997); más aún si consideramos la existencia de numerosas observaciones clínicas y trabajos experimentales descritos por Duren, 1996; Gee *et al*., 2000; Jackson, 1997; Ott y Asquit, 1989; Weeren *et al*., 2003 que demuestran que existe una marcada correlación entre el contenido dietario de Cu y Zn sobre la incidencia de enfermedades ortopédicas, fundamentalmente osteocondritis (OC) en potrillos en crecimiento; siendo ésta la enfermedad ortopédica más importante durante su desarrollo con una prevalencia de hasta un 20 a 25 % incluyendo todas las articulaciones y lesiones ocultas a las radiografías (Weeren *et al.,* 2003).

Por otro lado, Mateos *et al* (s.f), destacan el gran déficit de microminerales y vitaminas presentes en los ingredientes comúnmente utilizados en las raciones para animales domésticos. Roodney (1998), señala que la mayor cantidad de desbalances nutricionales en los caballos con dietas altas en energía, basadas en grano, como las otorgadas a los F.S.C., son los macrominerales Ca, P y Na, y los microminerales Fe, Cu, Zn y Se.

Murga (2001), indica que la etapa más crítica para el desarrollo del neonato es en su último tercio de gestación, siendo de gran relevancia un adecuado apoyo nutricional para el desarrollo intrauterino del hueso y crecimiento del esqueleto del equino.

Recientes trabajos en Nueva Zelanda realizados por Gee *et al* (2000) y Weeren *et al* (2003), mostraron que un aumento del Cu dietario era más efectivo en reducir la severidad de osteocondritis disecante (OCD) si era suministrado a yeguas en gestación tardía que a los potrillos en crecimiento temprano. Confirmando estos trabajos, Pearce *et al* (1998), señaló que suplementaciones orales de Cu en cantidades diarias de 0.5 mg/kg/día en

la dieta en yeguas en su etapa de gestación tardía, reducían las evidencias radiológicas y patológicas de fisitis y lesiones del cartílago articular en potrillos (Pearce *et al*., 1998 citado por el NRC, 1989).

Existen numerosos parámetros bioquímicos utilizados en el estudio del estado nutricional de Cu y Zn, como determinación de la enzima Cu-Zn superóxido dismutasa; ceruloplasmina y concentraciones plasmáticas de Cu y Zn (Novelli *et al.*, 1993). En el caso del Cu también se puede utilizar como indicador la actividad de las enzimas citocromo oxidasa y lysil oxidasa, siendo la concentración hepática de Cu el mejor indicador del metabolismo cúprico (Jeffcott y Davies, 1998). En el presente estudio se consideró como la expresión más adecuada del grado de adecuación nutricional de estos dos minerales a sus respectivas concentraciones plasmáticas, ya que ésta es la forma más común utilizada como indicador del estado de estos minerales trazas.

Milne (1998) y Cousins y Hempe (1997), demostraron que el aporte dietario de estos dos minerales, condiciona de manera directa sus concentraciones plasmáticas. A lo anterior se le agrega la clara ventaja de manejo y económica, además de las limitaciones prácticas, de la determinación de estos minerales por una punción hepática.

Al analizar las concentraciones plasmáticas de los minerales Cu y Zn, se observó que las yeguas seleccionadas al momento de comenzar el ensayo tanto del grupo I (Cu = 0,78 mg/dl, Zn = 0,38 mg/dl) como el grupo II (Cu = 0,75 mg/dl, Zn = 0,35 mg/dl) se encontraban con una adecuación mineral de estos microminerales inferiores a las concentraciones normales consideradas como referencias, descritas por Puls (1988).

Lo anterior, podría explicarse a muchos factores que influyen en la adecuación nutricional de estos minerales, Jeffcott (1998), menciona un componente individual, factores medio ambientales y los componentes dietarios; la dieta proporcionada a las yeguas fue evaluada mediante un análisis químico proximal con el fin de conocer su estatus nutricional y además percatarnos si algún nutriente estaba por sobre los

requerimientos dietarios pudiendo estar interfiriendo de forma antagónica con el Cu y el Zn.

El análisis químico proximal demostró que el contenido mineral de la alfalfa y la avena suministrados a las yeguas del estudio, aportaban un buen nivel de Ca, Zn, pero un bajo contenido de Cu y P. En cuanto a la pradera mixta (alfalfa, chepica y ballica), en donde pastan las yeguas nos encontramos con un déficit de Cu, Zn, Ca, y un buen aporte de P, en comparación con la referencia de la composición del alimento comúnmente usado en la dieta de los equinos dados por el NRC (1989). Esto resulta importante debido a que Weeren *et al* (2003), señala que los niveles de Cu en los pastos son suficientes para un desarrollo saludable de los huesos y cartílagos.

Por lo tanto, una de las razones de este bajo estatus nutricional en nuestras yeguas podría deberse al bajo aporte de Cu y Zn entregado en la alimentación de estos animales, sin embargo, es importante tomar en cuenta la diferencia entre el pasto utilizado en un estado fenológico temprano, contra un estado maduro, ya que es sabido que su valor nutritivo y contenido mineral, particularmente de los minerales trazas, disminuye a medida que el forraje avanza en su estado de madurez (Hintz, 1996).

Tras el inicio de la suplementación, el comportamiento de las concentraciones plasmáticas promedios de Cu y Zn en las yeguas del estudio a través del tiempo registró un comportamiento ascendente, y significativo ($p \leq 0,05$). En el caso del Zn, el aumento presentó una tendencia polinomial, sin embargo, no alcanzó el rango aceptado como normal, según Puls (1988), tanto para las yeguas suplementadas con Zn inorgánico (Zn = 0,48 mg/dl) como orgánico (Zn = 0,51 mg/dl).

En el 6° muestreo se aprecia una disminución de las concentraciones plasmáticas de este mineral, la cual podría deberse a una redistribución de Zn sanguíneo hacia el feto, debido al gran crecimiento fetal en el último mes de gestación.

A diferencia, para el Cu el incremento de sus concentraciones plasmáticas presentó una tendencia lineal en el tiempo, con una ligera disminución en el 5° muestreo para ambas formas de suplementación. Sin embargo, esto no influyó en nuestros resultados finales.

En cuanto a los resultados obtenidos en el grupo de yeguas suplementadas con el Cu orgánico (Cu = 0,82 mg/dl) no se logró alcanzar el límite inferior del rango de concentraciones plasmáticas aceptadas como normal para este mineral en la especie equina; sin embargo, el grupo de yeguas suplementadas con el Cu inorgánico (Cu = 0,85 mg/dl) alcanzó el mínimo del rango aceptado como normal por la literatura especializada (Puls, 1988).

En resumen, los niveles plasmáticos de Cu y Zn aumentaron a través del tiempo, sin lograr concentraciones plasmáticas satisfactorias, a pesar que las concentraciones dietarias suplementadas de ambos minerales cubrirían los requerimientos dietarios diarias, recomendados tanto por el NRC (40 mg de Zn/ Kg MS dietaria, y 10 mg de Cu/ Kg MS dietaria) como también los entregados por Jackson (1997), el cual señala que debido a las variadas funciones fisiológicas y bioquímicas del Cu y el Zn junto a las pérdidas de estos minerales, los requerimientos de estos dos microminerales son mayores que los establecidos por el NRC (1989).

Este déficit en lo niveles plasmáticos de Cu y Zn tras la suplementación puede atribuirse a otro de los factores que afectan la disponibilidad mineral, descritos por Hand *et al* (2000); que es la interacción entre los nutrientes, por exceso de otro mineral que actúe de forma antagónica reduciendo el transporte o la eficacia biológica de Cu y Zn.

Un ejemplo es la formación de complejos minerales insolubles, por ejemplo, los alimentos que contienen fitato y exceso de calcio forman un complejo insoluble de calcio-fitato-zinc, que reduce la disponibilidad del Zn (Hand *et al*., 2000).

También se describe que contenidos excesivos Ca dietario pueden provocar osteoporosis generalizada, al condicionar una deficiencia de Cu (Kronfeld *et al*., 1990). De la misma manera, un aumento del contenido proteico en las dietas como la caseína, disminuye la disponibilidad de Zn (Lönnerdal, 2000).

Al calcular el porcentaje total de proteína y calcio entregados a las yeguas de este estudio, este se encontraba en un 53% y un 34% por sobre los requerimientos para esta especie, según el NRC (1989), por lo que esto podría estar interfiriendo en la normal absorción de Cu y Zn.

Podemos mencionar además entre otros el antagonismo de Fe, Mo, ácido ascórbico y ácido fítico, los que reducen la absorción de Cu y Zn bajo ciertas circunstancias.

Por último, Mahan y Arlin (1995) y Medeiros (2001), señalan que el Zn es antagonista del Cu debido a que cantidades muy elevadas de Zn ha inducido déficit de Cu y enfermedades ortopédicas del desarrollo en caballos jóvenes, ya que estimula a las células intestinales para que produzcan más metalotioneína. Como ésta última une con mayor avidez Cu que Zn, se pierde más Cu en la exfoliación de las células intestinales.

Conjuntamente, Mahan y Arlin (1995) y Rink y Gabriel (2000), explican que los niveles plasmáticos de Zn pueden verse alterados por los propios factores fisiológicos, tales como: ayuno, embarazo, o procesos patológicos como afecciones intestinales, cirugías, insuficiencia pancreática, lesiones e inflamaciones, además de diversos tipos de estrés agudo, por ejemplo las infecciones.

Bremner y Beattie (1995), señalan que frente a una situación de estrés, el cambio característico en el metabolismo del Zn, es una disminución rápida, clara y transitoria de sus concentraciones plasmáticas.

Existe un creciente interés en las formas minerales orgánicas, debido a que se describe que de esta forma los minerales pueden ser incluidos en niveles muchos menores,

por su mayor capacidad de absorción (Hynes y Kelly, 1995), traduciéndose en un incremento en la utilización de estos nutrientes lo que aumenta su eficacia (Baker, 2002, Rompala, 2002). Por el contrario en las formas minerales inorgánicas, los iones libres son muy reactivos y pueden formar complejos con otras moléculas presentes en la dieta, que se traducen en una menor absorción intestinal del mineral (Close, 2002).

Es por esto que se suplementó con dos formas químicas: Cu y Zn entregados de forma orgánicos (unidos al aminoácido metionina) y de forma inorgánica entregados como Sulfato de Cu y Oxido de Zn, respectivamente. No se encontraron diferencias significativas ($p>0,05$) entre las concentraciones plasmáticas de ambos minerales, cuando se utilizaron ambas formas de suplementación, tanto en las yeguas como en los potrillos.

Mateos *et al* (s.f), indica que en contra de informaciones previas, la disponibilidad de los minerales orgánicos en las especies domésticas no es muy superior a las de las fuentes inorgánicas tipo sulfatos. Sin embargo, este autor también señala que los microminerales añadidos en forma de sulfatos tienden a apelmazarse lo que puede ser contraproducente en fuentes de alta concentración.

Diferentes autores (Mateos *et al.*, s.f; Wichert, 2002b) han demostrado que los minerales inorgánicos, específicamente los sulfatos, poseen igual disponibilidad que los minerales orgánicos, y ambos más disponibilidad que los carbonatos y los óxidos. Esto depende de las condiciones experimentales, además numerosas veces, los coeficientes de absorción no siempre son equivalentes con los valores de disponibilidad a nivel tisular.

Conforme a lo anterior, Hand *et al* (2000), afirma que es evidente que las formas orgánicas de algunos minerales como el Se, Cr y Fe se utilizan mejor que las inorgánicas. A diferencia, para otros minerales, como Zn y Cu, se ignora cuál es la forma más adecuada. Por ejemplo, existe un número relativamente similar de estudios que no encontraron mayor biodisponibilidad con las formas orgánicas de Zn/Cu y otros que sí la demostraron.

Actualmente existe un gran debate sí las formas orgánicas de los minerales tienen mayor biodisponibilidad que las formas inorgánicas. La respuesta depende de cada mineral, las particularidades de la dieta y el estado fisiológico del animal (Hand *et al*., 2000).

Hand *et al* (2000), señalan que las formas orgánicas de los minerales pueden ser beneficiosas cuando las condiciones dietarias o fisiológicas limitan la biodisponibilidad del mineral. Estas condiciones comprenden algún tipo de antagonismo entre minerales, o bien, una demanda metabólica incrementada, como ocurre durante períodos de crecimiento rápido, reproducción y desafío inmunológico. Este estudio se realizó en una etapa fisiológica del animal en que existe una alta demanda metabólica, pero en contraposición a lo citado por Hand *et al* (2002), la suplementación con minerales orgánicos, no fueron beneficiosas en comparación con las inorgánicas.

que genere una diferencia significativa en comparación con una suplementación de base inorgánica.

Finalmente, se alcanzaron en los potrillo concentraciones plasmática de Zn inferiores a las entregadas por Puls (1988) cuando sus madres se suplementaron con ambas formas químicas. A diferencia, cuando se suplementó con el Cu en forma inorgánica, no se logro el rango mínimo normal, en cambio para el Cu dado en forma orgánica a los 30 días de vida del potrillo, logró llegar a un rango de 0,88 mg/dl considerado normal según Puls (1988).

Conjuntamente se realizó un análisis de costos de la suplementación comparándose el valor del suplemento vitamínico mineral orgánico con el inorgánico, obteniéndose como resultado que el suplemento orgánico tiene un costo de más de el doble con respecto al inorgánico. Mateos *et al* (s.f), señalan que no es fácil aún para los expertos en el tema valorar en su justa medida la relación costo/beneficio de un suplemento ofrecido por varias empresas fabricantes de premezclas minerales. Más difícil es tomar la decisión en base a la composición especificada de las etiquetas. Por ejemplo, para un mismo contenido de vitaminas y minerales no siempre el más barato es el más efectivo desde un punto de vista

económico. Pero la mayoría de las veces, tampoco el suplemento más caro es el más rentable. Esto es importante al momento de elegir un suplemento que corrija la deficiencia de estos minerales. Para su elección, además de conocer las necesidades del animal, se debe tener información confiable acerca de la disponibilidad de los micro nutrientes tanto de las materias primas dietarias, como también de las fuentes externas utilizadas.

Tomando en cuenta que en este estudio no existió mayor influencia en las concentraciones plasmáticas de Cu y Zn en las yeguas suplementadas, y que los costos que significan en la producción equina la suplementación orgánica de una yegua por mes es considerablemente más alto que la suplementación inorgánica, no es rentable para este estudio la suplemetación con Cu y Zn orgánicos en yeguas en sus últimos 3 meses de gestación. Pero es importante la suplementación con Cu y Zn, por el bajo estatus nutricional en que se encuentran las yeguas de la zona central, debido al importante rol metabólico que cumplen estos dos minerales.

Es necesario poder aunar criterios para optar a la mejor solución sobre que tipo de suplemento dar a las yeguas, considerando los costos y beneficios entregados por el suplemento en cuestión para la mejor conveniencia sobre la producción equina tendientes a disminuir la alta prevalencia de las deficiencias de Cu y Zn en los potrillos y sus consecuencias pódales, garantizando que el equino pueda sustentar una larga vida productiva que le permita expresar su máximo potencial genético para las exigencias a las cuales son sometidos.

La conveniencia y necesidad de una suplementación mineral además de los efectos de otro mineral traza sobre los mecanismos de conservación del Cu y Zn deben ser investigados. El conocimiento acerca de los diferentes tejidos y órganos relacionados con estos minerales requiere el conocimiento acabado de los mecanismos moleculares de la conservación orgánica de Cu y Zn. Se espera que con las herramientas actualmente disponibles, se pueda identificar los mecanismos responsables del control del metabolismo de estos dos minerales y así poder crear recomendaciones más precisas de sus requerimientos dietarios (Levenson, 1998).

8. **CONCLUSIONES**

De acuerdo a los resultados es posible concluir:

1.- Los resultados obtenidos, confirman que las yeguas alimentadas con praderas de alfalfa existentes en la zona central del país, presentan concentraciones plasmáticas deficitarias de Cu y Zn.

2.- La suplementación de Zn en sus dos formas químicas, produjo en las yeguas un incremento de su concentración plasmática cuya tendencia fue polinomial.

3.- La suplementación de Cu en sus dos formas químicas, produjo a las yeguas una elevación de su concentración plasmática cuya tendencia fue lineal.

4.- La suplementación con Cu y Zn suministrados tanto en forma orgánica como inorgánica a las yeguas aumentó signicativamente las concentraciones plasmáticos de ambos minerales ($p<0,05$). Sin embargo solo el grupo suplementado con Cu inorgánico alcanzó el mínimo del rango aceptado como normal por la literatura especializada (Puls, 1988).

5.- Solo en el en el 2° muestreo (30 días de vida) del grupo de potrillos cuyas madres fueron suplementadas con el Cu dado en forma orgánica, logró llegar a un rango de Cu plasmático considerado normal según Puls (1988).

5.- No existieron diferencias ($p<0,05$) entre las concentraciones plasmáticas de Cu y Zn en las yeguas ni en los potrillos suplementados con fuentes orgánicas e inorgánicas de estos dos minerales.

6.- La suplementación mineral orgánica, tiene un costo superior a la suplementación con minerales inorgánicos, sin lograr un beneficio que lo justifique.

7.- Debería modificarse la suplementación de Cu y Zn para alcanzar niveles normales en las yeguas gestantes y potrillos de un mes de edad

9. BIBLIOGRAFÍA

ALELLO, S.E. 2002. El Manual Merk de Veterinaria. 5 ed. Océano Grupo Editorial, S.A. Barcelona, España. pp 1789-1796.

A.O.A.C.I: 1995.Association of official analytical chemist. **In:** Official methods of analysis. Ed. by A.O.A.C.16 th ed. Virginia, U.S.A. Cap: 9, pp. 1-46.

BAKER, L.A. 2002. The effect of supplemental inorganic and organic forms of copper and zinc on digestibibility and growth im yearling geldings in training. **In:** 18th Annual feed industry symposium. Lexington, Kentucky, USA. 13-15 mayo. Alltech.

BERGER, L. 1993. Effective cooper for animals. [en línea] salt institute <http:/www.saltinstitute.org/stm-3.htlm> [consulta: 10/09/2002]

BREMNER, I; BEATTIE, J. 1995. Copper and Zn metabolism in health and disease: speciation and interactions. Proceeding of the Nutrition Society, 54: 489-499.

BRIDGES, C; MOFFITT, P. 1990. Influence of variable content of dietary Zn on copper metabolism of weanling foals. American Journal Veterinary Research. Feb; 51(2): 275-80.

BRIDGES, C; WOMACK, J; HARRIS, E; SCRUTCHFIELD, W. 1984. Considerations of copper metabolism in osteochondrosis of suckling foals.
Journal American veterinary medical association. Jul 15; 185 (2): 173-8.

BRIGGS, K. 1998. Amaazing minerals. [En línea] The Horse interactive. http://www.thehorse.com/advancedsearch.ase?aid=2098 [consulta: 10-09-2004]

CARVAJAL, S.; EGAÑA, J.; SAHAR, M.; 2002. Evaluación nutricional mineral de potrillos Fina Sangre criados en haras de la zona central del país. **In:** XII Congreso Chileno de Medicina Veterinaria. Chillan, Chile. 24-26 octubre 2002. Universidad de Concepción, Facultad de Medicina Veterinaria.

CLOSE, W. 2002. Minerales traza en la industria de cerdos: trabajando dentro de los márgenes de las nuevas recomendaciones. **In:** Paper Summaries 18 th Annual Feed Industry Symposium. Lexington, Kentucky, USA. 13-15 Mayo 2002. Alltech. pp. 50.

CLOSE, W. H. 1999 Mineral Nutrition in the New Millennium: The Scientific case Organic Minerals. In: Lyons, T.P y Cole, D.J.A. (eds) Concepts in pig Scienc 1999. The 1st Annual Turtle Lake Pig Science Conference Nottingham Nutrition International 31-142 pp

COCKELL, K; BELONJE, B. 2002. The Carbonyl Content of Specific Proteins is Decreased by Dietary Copper Deficiency in Rats. Journal of Nutrition. 132: 2514 – 2518.

COTRAN, R.; KUMAR, V.; COLLINS, T. 2000. Robbins patología funcional y estructural. 6º ed. Interamericana Mc Graw- Hill. pp. 19-20.

COUSINS, R.J.; HEMPE, J.M. 1991. Cinc. **In:** Organización Panamericana de la Salud (OPS); International Life Sciences Institute (ILSI). Conocimientos actuales sobre nutrición 6ed. Washington D.C, USA. pp. 389-397.

COUSINS, R.J.; HEMPE, J.M. 1997. Cinc. **In:** (OPS) Organización Panamericana de la Salud; (ILSI)International Life Sciences Institute. Conocimientos actuales sobre nutrición 7 ed. Washington D.C, USA. pp. 312-326.

COUSINS, R. 2001. Zinc. [en línea] University of Florida, food science and human nutrition dept < http://www.drlera.com/MINERALS/zinc.htm > [consulta:02/04/2004]

CYMBALUK, N; CHRISTENSEN, D; BRISTOL, F. 1986. Influence Of age and breed of equid on plasma copper and Zn concentrations. American Journal Veterinary Research. Jan; 47(1):192-195.

DIAZ, C; HENRIQUEZ, P; LOPEZ, F; RODRIGUEZ, E; SERRA, L. 2002. Serum copper and Zn concentrations in a representative sample of the Canarian population. Journal Trace Elements Medical Biology. 16(2):75-81.

DUDLEY-CASH W.A, 1997. Organic form of zinc may provide additional benefits in poultry. Feedstuffs, december 1. pp 11-17.

DUREN, S. 1996. Delivering Essential Nutrients To Young, Growing Horses. **In:** Pagan, J. Advances in Equin Nutrition. Nottingham University Press. Kentucky Equin Research Inc. pp. 421-435.

EMERICK, R; KAYONGO-MALE, H. 1990. Interactive effect of dietary silicon, Cooper and Zinc in the rat. Journal of Nutrition Biochemistry, vol.1, pp.34-40.

FASCETTI, A; MORRIS, J. 2002. Nutrición de Zinc y Cobre en el gato. **In:** Paper Summaries 18 th Annual Feed Industry Symposium. Lexington, Kentucky, USA. 13-15 Mayo 2002. Alltech. pp. 59.

FICKE, K. R; MILLER, S; FUNK, J; MAC DOWELL, L; HOUSER, R. 1976. Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales. Univ. De Florida. Instituto de Ciencias Alimentarias y Agropecuarias. Gainsville, Florida. U.S.A. p 82.

FRAKER, P. J; KING, L. E; LAAKKO, T; VOLLMER, T. L. 2000. The Dynamic Link between the Integrity of the Immune System and Zn Status. [en línea] nutrition.org. <http://www.nutrition.org/cgi/content/full/130/5/1399S> [consulta: 2/04/2004].

GARCÍA, A; CASTEJÓN, F, GONZÁLEZ, J; MURILLO, M; PALOMINO, F; SALIDO, G. 1995. Fisiología Veterinaria. Interamerica Mc Graw- Hill. Madrid, España. 510-511p.

GEE, E.; GRACE, N.; FIRTH, E.; FENNESSY, P. 2000. Changes in liver copper concentration of thoroughbred foals from birth to 160 days of age and the effects of prenatal copper suplementation of their dams 78(5): 347-353.

HAND, M; REMILLARD, R., ROUDEBUSH, P; THATCHER, C. 2000. Nutrición clínica en pequeños animales (Small Animal Clinical Nutrition). 4 ed. Editorial inter-Médica S.A.I.C.I, Buenos Aires, Argentina. 76-90p.

HINTZ, H. 1996 Mineral Requirements in the Horse: A Historical Perspective. **In:** Pagan, J. Advances in Equin Nutrition. Nottingham University Press. Kentucky Equin Research Inc. pp. 51-56.

HONORE, E. K; UHLINGER, C. A. 1991. The Relationship Between A Priori Vitamin-Mineral Supplementation and The Nutritional Balance of Equine Rations. AAEP Convention Proceedings 1991. AAEP on CD 2000/2001 Edition. p 38.

HYNES M, J; KELLY M.P. 1995**.** Metal ions, chelates and proteinates. Biotechnology in The Feed INDUSTRY. Edited by T.P. Lynos & K,A. Jacques. Nottingham Press, Nottingham U.K. pp 233-248.

JACKSON, S.G. 1997. Equine nutrition conference. [en línea] Kentucky. <http//:www.Ker.com/library/archive/proceedings/sc97/14/index.htlm>[consulta 2/11/2002]

JEFFCOTT, L. B; DAVIES, M. E. 1998. Copper status and skeletal development in horses: still a long way to go. Equine Veterinary Journal. 30 (3). pp 183-185.

JENKINS, K. 1989. Effect of Copper Loading of Prerumiant Calves on Intracellular Distribution of Hepatic Copper, Zinc, Iron, and Molibdenum. Journal of Dairy Science. 72:2346-2350.

KRONFELD, D. S; MEACHAM, T. N; DONOGHUE, S. 1990. Dietary Aspects of Developmental Orthopedic Disease in Young Horses. **In:** Veterinary Clinics of North America: Equine Practice, Clinical Nutrition. W. B. Saunders Company. Philadelphia. U.S.A. Vol 6, N° 2. pp. 451-465.

LEVENSON, C. 1988. Mechanisms of copper conservation in organs. The American Journal of Clinical Nutrition. 67(5S): 978S-981S.

LÖNNERDAL, B. 2000. Dietrary factors influencing Zinc absorption. American Society of Nutrition Science. (22): 1378s-1383s.

MAHAN, L.K; ARLIN, M.T. 1995. Nutrición y dietoterapia de Krause. 8 ed. Interamericana Mc Graw- Hill. México DF, México. pp. 122-128.

MC DOWELL, L.R.; CONRAD, J.H.; HEMBRY, F.G.; ROJAS, L.; VALLE, G.; VELÁSQUEZ, J. 1993. Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales. 2 ed. Departamento de Zootecnia. Universidad de Florida. Gainesville. pp. 28-29.

MAINARD, L,; HINTZ, H.; WARNER, R. 1989. Nutrición Animal. 7º ed. Interamericana Mc Graw- Hill. pp 262-263.

MATEOS, G.; JIMÉNEZ, G.; GARCIA, M. sf**.** Composición micromineral y vitamínica de correctores comerciales: Premezclas para porcino. [en línea] ohio state university, dept of human nutrition < http://www.estsia.upm.es/Fedna/capitulos/98 CAPXVII.pdf > [consulta: 18/03/2003]

MEDEIROS, D. 2001. Copper. [en línea] ohio state university, dept of human nutrition < http://www.drlera.com/MINERALS/copper.htm > [consulta: 7/4/2003]

MILES, R. D.; HENRY, P. R. 1999. Trace minerals bioavailability. California Animal Nutrition Conference. pp 1-16.

MIZUNO, Y; YAMAMOTO, O. 1993.Requerimients of Cooper and Zinc for Foals in Connection with the incidence of Epiphisitis. Animal Science and thechnology (Japan). 64 (12): 1993-1200.

MURGA, J. 2001. Densimetría ósea en caballos de alto rendimiento deportivo y "blindaje nutricional equino". [en línea] United States America. <http://congresos.veterinaria.org/noauth.cfm> [consulta: 13/3/2003]

NRC. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1989. Nutrient requerimients of horses fifth Revised Edition. ed National academy press. Washington, DC. pp. 15-18.

NESTLÉ, CHILE. 1997. Nutrientes Minerales. Servicio de Información de Nestlé. Chile. pp. 3.

NOVELLI, E.L; RODRIGUES, N.L; CHIACCHIO, S.B. 1993. Clinical biochemical determinations in the Mangalarga-Paulista horse: referente values. Acta Vet Hung. 41 (1-2): 151- 158.

O`DELL, B.L. 1991. Cobre. **In:** (OPS) Organización Panamericana de la Salud; (ILSI) Instituto Internacional de Ciencias de la Vida. Conocimientos actuales sobre nutrición. 6ed. Washington D.C, USA. pp. 301-308.

OTT, E; ASQUIT, R. 1989. The Influence of Mineral Suplementation on Growth and Skeletal Development of Yearling Horses. Journal of Animal Science. 67:2831-2840.

PATERSON, J. A; SWENSON, C. K; ANSOTEGUI, R. P; WELLINGTON, B. 2002. The absorption of copper and Zn by cattle consuming diets containing the antagonists molybdenum, sulfur and iron. [en línea] animal and range science, extension service montana state university. <http://animalrangeextension.montana.edu/articles/beef/copper/absorption_copper.htm> [consulta: 2/04/2004].

PROHASKA, J. 1990. Biochemical changes in cooper deficiency. Journal of Nutrition Biochemistry, 2; 452-461.

PULS, R. 1988. Mineral levels in animal health. Sherpa International. Canada. Published by sherpa international. Canada.76-238.

RINK, L; GABRIEL, P. 2000. Zinc and the immune system. Proceedings of the Nutrition Society, 59: 541-552.

ROODNEY, D. 1998. Clinical nutrition. In: Reed, S; Bayly, W. Equine internal medicine. 1ª Edición. W. B. Saunders Company, U.S.A. 216-250.

ROMPALA, R. 2002. Protegiendo los minerales traza esenciales: posibles mecanismos de absorción. **In:** Paper Summaries 18 th Annual Feed Industry Symposium. Lexington, Kentucky, USA. 13-15 Mayo 2002. Alltech. pp. 37.

RUCKER, R; KOSONEN, T; CLEGG, M; MITCHELL, A; RUCKER, B; URUY-HARE, J; KEEN,C. 1998. Copper, Lysyl oxidase, and extracellular matrix protein cross-linking. The American Journal of Clinical Nutrition. 67(5S): 996S-1002S.

WEEREN, P; KNAAP, J; FIRTH, C. 2003. Influence of liver copper status of mare and newborn foal on the development of osteochondrotic lesions. Equin Veterinary Journal.(1): 67-71.

WICHERT, B; FRANK, T; KIENZLE, E. 2002a. Zinc, copper end selenium intake and status of horses in Bavaria. Journal of Nutrition. 132:1776S-1777S

WICHERT, B; KREYENBERG, K; KIENZIE, E. 2002b. Serum Response Oral Supplementation of Different Zinc Compounds in Horses. American Society for Nutritional Sciences. J. Nutr. 132: 1769S-17770S.

ANEXO Nº 1

Consumo de alimento expresado en % peso corporal según el estado fisiológico de los equinos.

	Consumo de alimento equinos		
	Forraje	Concentrado	total
Equinos adultos			
Mantención	1,5-2,0	0-0,5	1,5-2,0
gestación tardía	1,0-1,5	0,5-1,0	1,5-2,0
gestación temprana	1,0-2,0	1,0-2,0	2,0-3,0
lactancia	1,0-2,0	0,5-1,5	2,0-2,5
Potrillos			
Lactantes de 3 meses	0	1,0-2,0	2,5-3,5
destete 6 meses	0,5-1,0	1,5-3,0	2,0-3,5

* Fuente: National research council. 1989. Nutrient requerimients of horses fifth Revised Edition. ed National academy press. Washington, DC.

ANEXO Nº 2

Datos de referencia de la composición del alimento comúnmente usado en la dieta de los equinos según NRC.

	Análisis Químico Proximal				MINERALES	
	MS%	FC%	PT%	EE%	Ca%	P%
Heno de Alfalfa	100	28	18,7	2,6	1,37	0,24
Avena	100	12	13,3	5,2	0,09	0,38

	MINERALES	
	Cu mg/kg	Zn mg/kg
Alfalfa	17,7	31
Avena	6,7	39

* No hay referencias exactas en el NRC de los valores de una pradera mixta.