



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**

**DETERMINACIÓN DEL PERFIL MINERAL EN LECHE,
PELO Y SANGRE DE YEGUAS RECIÉN PARIDAS Y LA
CONCENTRACIÓN DE ESTOS ELEMENTOS EN PELO
DE SUS POTROS**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICO VETERINARIA ZOOTECNISTA**

P R E S E N T A:

CESAR MIGUEL GALAVIZ GALAN

**ASESORES: MVZ, MPA, Dr C. Carlos Gutiérrez Olvera
MVZ Cert. Manuel Eduardo Morones Soto**



MÉXICO, D.F.

2010



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA

A mis padres, Miguel A. Galaviz Macias (mi guerrero incansable) y Ma. Del Carmen Galán Altamirano (q.e.p.d) (mi corazón gigante), por haberme dado la vida y por haber formado este hombre que ahora soy. LOS AMO CON TODA EL ALMA.

A mi madre, que partió antes y que físicamente no está en este momento, pero que siempre vive en mi corazón y está conmigo doquiera que voy. Gracias chaparrita y nos volveremos a ver.

A mi hermanita, Arianna Galaviz, solo puedo decirte que Te Amo.

A Fátima Rosette Valenzuela, que eres el motor que me impulsa y me motiva a querer más para ambos. TE AMO!!

A mi amadísima prima Jimena C. Galán Cabello, mi casi hija por 6 años. Te Amo amor. Cuenta conmigo siempre!!!.

A mis queridos hermanos de carrera y corazón, Karola, Gemma, Indolfo, Daniel, Jana, Chio, Eli, Hochimi, Iván, Memo, Carmen, Pilar, Ariadna, José Luis “El Chiapis”, Consuelo, Thalía, Paulina, Aline y a todos los que por espacio en papel, mas no en el corazón, faltan y formaron parte, no solo de mi núcleo escolar, sino de mi vida, siéntanse incluidos.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por haber creído en mi sueño, por haber impulsado mi carrera y no bajar los brazos, aun en los momentos más difíciles. Por luchar a brazo partido y ofrendar la vida, para que yo obtuviera una propia y pudiera defenderme en este mundo. No tengo con que pagar. Mil Gracias!!!

A mi hermana Arianna por apoyarme e impulsarme a su modo. Gracias

Al I.Q. Alfredo Cervantes Landa, que siempre me impulsó con su ejemplo y me enseñó dos cosas importantes para la vida: Agradecer y Que con voluntad, se puede todo.

A la Familia Rosette Valenzuela por cuidar de mi como otro hijo y miembro de la familia, por creer en mi y por el apoyo en todos los sentidos, gracias familia!!.

A mi amada UNAM, en tus aulas está parte de mi corazón, Goya Universidad!!!

A mi honorable jurado, Dr. Troncoso, Dra. Masri, Dr. Romero, Dra. Rivera y Dr. Gutiérrez, por sus aportaciones, enseñanzas y paciencia, Gracias.

Al Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica, en el área de Toxicología por enseñar el amor a la ciencia y por los buenos y malos momentos ahí pasados, no los olvidaré!!!

Al Dr. Carlos Gutiérrez Olvera y familia, por todo su apoyo, su paciencia y su fe en que todo saldría bien, no tengo como pagarle, gracias por creer en mi.

Al Dr. Janitzio A. Bautista Ordoñez al que no tengo palabras para agradecer, no solo que me tendiera su mano en los análisis, sino por su amistad y apoyo en los momentos difíciles de esta tesis y por enseñarme tantas cosas, a pesar de las adversidades.

Al Dr. Manuel E. Morones Soto por enseñarme tantas cosas de los caballos, por ser amigo a toda ley y prueba y por todos esos buenos momentos de mi estancia en la UPM Montada.

A la Act. Adriana Ducoing Watty por el apoyo en la elaboración del análisis estadístico y por compartir su tiempo para que entendiera el arte de la estadística.

A la Secretaria de Seguridad Pública del Distrito Federal, al personal de la Unidad Médico Veterinaria, por las facilidades prestadas para la realización de este trabajo.

A mi hermanita Karola, por apoyarme, escucharme y estar conmigo en los momentos más difíciles de mi vida y que fue parte importante en la realización de este trabajo.

A Gemma e Indolfo que han estado conmigo, muy cerca y son ejemplo de bondad y de la empatía de los buenos amigos.

Al Dr. Agustín Bobadilla y la Dra. Noemí Ávila, porque con ellos inicio mi camino en la aventura de la academia, además por sus enseñanzas y su amistad, aun con esos baches, que aun no pasan del todo.

A la Dra. Noemí, Dr. Rosiles, Dr. Horta, Dr. Diaz, Dra. Castañeda, Carmen, Kika, Pilar, Ariadna, José Luis, Memo, Iván, Sra. Aurelia, Sr. Jaime, Dra. Jana, Dra. Deyanira, Dra. Consuelo, Chío, Flor, Hochimi, Thalía, Paulina, Aline, Semiramis, Viridiana, Erika (p-luche), Tere, Yamadi, y demás entrañables, por sus porras incondicionales.

Hay tanto que agradecer!!!

CONTENIDO

RESUMEN	II
I. INTRODUCCIÓN	1
I.1. Marco evolutivo del caballo.....	1
I.2. El caballo en la actualidad.....	2
I.3. Importancia de los minerales en la gestación y lactación de la yegua.....	3
I.4. Los minerales en el organismo.....	5
I.5. Las funciones de los minerales.....	6
I.6. Interacciones minerales.....	11
I.7. Requerimientos de minerales en la lactación.....	13
II. JUSTIFICACION.....	14
III. HIPOTESIS.....	15
IV. OBJETIVOS.....	15
III.1 Objetivo general.....	15
III.2. Objetivos específicos.....	16
V. MATERIAL Y MÉTODOS.....	17
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
VI.1. Evaluación de la dieta ofrecida.....	22
VI. 2. Concentración de minerales en pelo de yeguas durante la lactación...	30
VI.3. Concentración de minerales séricos de yeguas durante la lactación.....	40
VI.4. Concentración de minerales en leche de yeguas.....	48
VI.5. Análisis del comportamiento de los minerales a través de la lactación.....	57
VI. 6. Análisis del comportamiento de los minerales en cada tiempo de muestreo.	61

VI.7. Concentración de minerales en pelo de potros.....	68
VII. CONCLUSIONES.....	83
VIII. LITERATURA CITADA.....	85
ANEXO I.....	93
ANEXO II.....	95
ANEXO III.....	96

Índice de Figuras

Figura 1i. Interacciones entre los minerales.....	12
Figura 1. Concentración promedio de Calcio en pelo de yeguas.....	30
Figura 2. Concentración promedio de Fósforo en pelo de yeguas.....	31
Figura 3. Concentración promedio de Magnesio en pelo de yeguas.....	33
Figura 4. Concentración promedio de Sodio en pelo de yeguas.....	34
Figura 5. Concentración promedio de Potasio en pelo de yeguas.....	35
Figura 6. Concentración promedio de Zinc en pelo de yeguas.....	36
Figura 7. Concentración promedio de Cobre en pelo de yeguas.....	37
Figura 8. Concentración promedio de Selenio en pelo de yeguas.....	38
Figura 9. Concentración promedio de Calcio en sérico de yeguas.....	39
Figura 10. Concentración promedio de Fósforo en sérico de yeguas.....	40
Figura 11. Concentración promedio de Magnesio en sérico de yeguas.....	42
Figura 12. Concentración promedio de Sodio en sérico de yeguas.....	43
Figura 13. Concentración promedio de Potasio en sérico de yeguas.....	44
Figura 14. Concentración promedio de Zinc en sérico de yeguas.....	45
Figura 15. Concentración promedio de Cobre en sérico de yeguas.....	46
Figura 16. Concentración promedio de Selenio en sérico de yeguas.....	47
Figura 17. Concentración promedio de Calcio en leche de yeguas.....	48
Figura 18. Concentración promedio de Fósforo en leche de yegua.....	49
Figura 19. Concentración promedio de Magnesio en leche de yegua.....	50
Figura 20. Concentración promedio de Sodio en leche de yegua.....	52
Figura 21. Concentración promedio de Potasio en leche de yegua.....	53
Figura 22. Concentración promedio de Zinc en leche de yegua.....	54
Figura 23. Concentración promedio de Selenio en leche de yegua.....	56
Figura 24. Concentración promedio de Calcio en pelo de potros.....	68
Figura 24a. Concentración promedio de Calcio en pelo de potros y leche de yeguas.....	70
Figura 25. Concentración promedio de Fósforo en pelo de potros.....	70
Figura 25a. Concentración promedio de Fósforo en pelo de potros y leche de yeguas.....	72
Figura 26. Concentración promedio de Magnesio en pelo de potros.....	72
Figura 26a. Concentración promedio de Magnesio en pelo de potros y leche de yeguas.....	73
Figura 27. Concentración promedio de Sodio en pelo de potros.....	74
Figura 27a. Concentración promedio de Sodio en pelo de potros y leche de yeguas.....	76
Figura 28. Concentración promedio de Potasio en pelo de potros.....	76
Figura 28a. Concentración promedio de Potasio en pelo de potros y leche de yeguas.....	77
Figura 29. Concentración promedio de Zinc en pelo de potros.....	78
Figura 29a. Concentración promedio de Zinc en pelo de potros y leche de yeguas.....	79
Figura 30. Concentración promedio de Cobre en pelo de potros.....	79
Figura 30a. Concentración promedio de Cobre en pelo de potros y leche de yeguas.....	80
Figura 31. Concentración promedio de Selenio en pelo de potros.....	81
Figura 31a. Concentración promedio de Selenio en pelo de potros y leche de yeguas.....	82

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Requerimientos minerales de yeguas en gestación.....	14
Cuadro 2. Requerimientos minerales de yeguas en lactación.....	14
Cuadro 3. Requerimientos de PC, ED y minerales ajustados a 457 kg de PV.....	22
Cuadro 4. Ingredientes de la dieta de los yeguas de la UPM Montada.....	23
Cuadro 5. Análisis Químico Proximal de heno de avena.....	23
Cuadro 6. Análisis Químico Proximal de heno de alfalfa.....	23
Cuadro 7. Análisis Químico Proximal de alimento comercial.....	24
Cuadro 8. Concentración de minerales en los ingredientes de la dieta de yeguas UPM Montada.....	24
Cuadro 9. Kilogramos de ingredientes en Base Húmeda, MS y % de inclusión de ingredientes de la dieta de yeguas UPM Montada.....	25
Cuadro 10. Aporte de PC, Mcal/kg MS y concentración de macro y micro minerales por de acuerdo al porcentaje de inclusión.....	25
Cuadro 11. Aportes de PC, ED y minerales de acuerdo al % de Inclusión de ingredientes de la dieta de caballos UPM Montada.....	25
Cuadro 12. Balance nutrimental de la dieta ofrecida a yeguas UPM Montada.....	26

RESUMEN

GALAVIZ GALÁN CESAR MIGUEL. Determinación del perfil mineral en leche, pelo y sangre de yeguas recién paridas y la concentración de estos elementos en pelo de sus potros (bajo la dirección de: MVZ MPA Dr. en C. Carlos Gutiérrez Olvera y MVZ Cert. Manuel Eduardo Morones Soto).

Este estudio se realizó en las instalaciones de la Unidad de Policía Metropolitana (UPM) Montada de la Secretaría de Seguridad Pública del D.F., (SSPDF) y en el laboratorio de toxicología del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la FMVZ-UNAM. Se utilizaron siete yeguas y sus respectivos potros. A las yeguas se les tomó muestras de leche, sangre y pelo y a los potros de pelo en los días 0, 2, 8, 32, 64 y 128 posparto. Además, se tomaron muestras de los ingredientes de la dieta de estas yeguas. Mediante un análisis de espectrofotometría se determinó en las muestras la concentración de Ca, Mg, Na, K, Zn, Cu, Se y mediante colorimetría P. Se encontró que el aporte de minerales de la dieta no satisface los requerimientos establecidos por NRC (2006) para animales en esta etapa fisiológica. Se encontró que no se puede explicar el contenido de minerales en leche de las yeguas con la concentración de minerales en pelo y sangre de las mismas y tampoco se puede explicar la concentración de minerales en el potro por medio de la concentración de estos en la leche de las yeguas. Se observó que la concentración de minerales en la leche fue similar a la reportada por otros autores, de modo que se puede evidenciar que, a pesar de las deficiencias de minerales en la dieta la concentración de estos en la leche es mantenida.

Palabras clave: leche de yegua, minerales en leche, minerales en pelo, minerales séricos, potros.

I. INTRODUCCIÓN

I.1 Marco evolutivo del caballo

El caballo es un ejemplo singular de la teoría de la evolución. Posee uno de los clados (ramas evolutivas de las especies) más completos, con más de 50 millones de años de antigüedad, hasta llegar al Eohippus del período eocénico, un animal no más grande que un zorro y que presentaba varios dedos. Este primitivo animal vivía en los bosques, escapando y escondiéndose de sus predadores, siendo su alimentación a base de hojas, hierbas tiernas, frutas, y probablemente de algunos animales pequeños, ya que estaba adaptado para una alimentación mixta.²⁸

La transformación del caballo en un corredor de gran tamaño y fuerza, usando como defensas sus poderosas patas y dientes, le permitieron subsistir en las espaciosas praderas sin necesidad de ocultarse.

El cambio de una dieta fácilmente digestible, principalmente de hojas y brotes, a una alimentación fibrosa de hierbas más o menos leñosas requirió varias modificaciones adaptativas que hicieron del equino un herbívoro eficiente. Además, la evolución de la cabeza y los dientes, dieron por resultado el desarrollo de un potente aparato masticador, destacando el aumento en el tamaño de los molares y el cambio de la superficie oclusal de estos, provista además de aristas y depresiones que permiten al caballo desmenuzar y moler finamente el material vegetal fibroso y/o leñoso.

Por otro lado, el caballo desarrolló una cámara de fermentación post-gástrica con microorganismos capaces de sintetizar enzimas que degradan los componentes de las paredes de las células vegetales.

Estas características afectaron los hábitos y el comportamiento alimentario, permitiendo, a los equinos, evolucionar como herbívoros no rumiantes, donde su sistema digestivo se caracteriza por un estómago pequeño y un voluminoso intestino ^{18, 23, 28}.

En condiciones naturales se alimentan por breves períodos de tiempo durante la mayor parte del día, pudiendo llegar hasta 16 horas diarias cuando el pasto escasea. ^{18, 23, 28}

I.2 El Caballo en la actualidad

Los caballos, al igual que el resto de los équidos han cambiado sus hábitos a lo largo de la historia de su convivencia con el hombre. Hoy día apenas quedan caballos que se alimentan de forma completamente natural, es decir, como lo harían en vida libre. Las consecuencias de estos cambios pueden acarrear efectos a menudo desagradables, como son los problemas de laminitis y síndrome abdominal agudo que son causa de un alto porcentaje de muertes en los caballos. ^{18, 28}

Los pocos caballos que aun existen en vida libre, en las orillas de ríos o pantanos comen plantas acuáticas y en los campos desentierran raíces, escarbando con los cascos. Si la hierba no ha crecido lo suficiente para ser consumida, pueden comer hojas, lo que los hace altamente selectivos. ^{18, 28}

Una de las raciones más comúnmente utilizadas en el equino está compuesta principalmente por un alimento concentrado y heno o pastos frescos como una fuente de forraje, esta ración se obtiene básicamente según las condiciones y la disponibilidad local.

En el caso de equinos atletas, con altas exigencias de rendimiento, demandan raciones con una mayor distribución en la relación concentrado/forraje en el alimento a fin de evitar posibles trastornos digestivos. Pese a esta condición, no es común observar caballos que coman tres ó cuatros veces al día.²⁸

Uno de los problemas más comunes que se encuentran en la alimentación de los caballos es el desbalance en la cantidad de minerales que se le suministra a estos en su alimentación diaria. Existe una tendencia entre los criadores de caballos a suministrar una serie de compuestos minerales, no solo sin conocer la necesidad exacta de esos nutrientes, sino también sin tener presente si el alimento balanceado y los forrajes que consume el caballo satisface sus requerimientos, aunque en algunas ocasiones el uso indiscriminado de estos suplementos pueden causar problemas de salud importantes.

I.3. Importancia de los minerales en la gestación y lactación de la yegua

El periodo de gestación en la yegua dura en promedio once meses (341 ± 15 días) y pare una cría en cada gestación; el nacimiento de gemelos es algo indeseable.^{4, 5,6}

La producción y calidad de la leche de las diferentes especies es un tema de suma importancia debido al impacto que esta tiene sobre el crecimiento y desarrollo del neonato, esto cobra relevancia puesto que la leche de algunas especies se comercializa para consumo humano, ya sea de forma fluida o transformada en subproductos. En la antigüedad, la leche

de la yegua se utilizaba para satisfacer las necesidades alimenticias de los humanos, en la actualidad el consumo humano de esta leche ha disminuido y ha sido sustituida por la de otras especies, principalmente por la leche de vaca, sin embargo, la leche de yegua aun es utilizada para fines cosméticos y alimentos artesanales.^{6, 7, 12}

La composición de la leche cambia rápidamente durante los primeros días posparto y conforme avanza la lactación el cambio es más paulatino. Existe una fase determinada de la lactación donde la composición de la leche de yegua es similar en las distintas razas de caballos.^{4, 5, 6, 7}

El periodo de lactación de la yegua es de aproximadamente 150 a 210 días y la producción oscila entre 15.51 a 18.62 kg/día, teniendo variaciones entre razas. Aun no se cuenta con información suficiente sobre la mayoría de las razas.^{4, 5, 6, 7}

Se ha observado que la dieta de la yegua es un factor determinante en la calidad de la leche, ya que los elementos que contiene y la cantidad de estos, son los que recibirá el potro en el momento de mamar puesto que este es el único alimento que recibe en la etapa de recién nacido. La cantidad adecuada de estos componentes estimula el crecimiento y desarrollo propicio de los potros, aunque en comparación con otras especies (lechones y corderos), el potro tarda mucho tiempo en doblar su peso de nacimiento (60 días) por lo que es importante administrar alimentos de buena calidad en la etapa de gestación y en la lactancia ya que esto se verá reflejado en la ganancia diaria de peso del potro.^{4, 5, 6, 7}

I.4. Los Minerales en el organismo

Todas las formas de materia viva requieren elementos inorgánicos, o minerales, para sus procesos vitales normales. Todos los tejidos animales y todos los alimentos contienen elementos inorgánicos, o minerales, en amplias variedades y proporciones ^{1, 2}. Los minerales son elementos químicos sólidos, cristalinos y no se pueden sintetizar por reacciones químicas ordinarias. El método común para determinar el contenido mineral o inorgánico total en los alimentos, es a través de la cuantificación de las cenizas totales restantes de la incineración a alta temperatura de la materia orgánica.¹

De forma típica, el calcio y el fósforo representan el 45 % y 29%, respectivamente de los minerales corporales totales. El potasio, azufre, sodio, cloro y magnesio, juntos, dan cuenta del 25%, mientras que los elementos traza constituyen menos del 0.3% del total. La distribución mineral dentro de los tejidos corporales no es uniforme, puesto que algunos tejidos concentran de manera selectiva elementos específicos ^{1, 2}. Cada órgano, de acuerdo con su función, tiene una composición mineral característica, la cual es muy similar en todos los mamíferos. Debe hacerse notar que el contenido corporal de sodio, potasio y cloro, es constante durante todas las etapas del desarrollo, desde embrión hasta adulto, mientras que el contenido de magnesio, calcio y fósforo del embrión es solo la mitad del animal adulto. ^{1, 2}

El hueso es el principal sitio de almacén para muchos de los elementos esenciales ^{1, 2, 3}. Entre el 80% y 85% del contenido mineral corporal total, o cenizas, está localizado en el hueso y consiste principalmente de sales de calcio, fósforo y magnesio.¹

Los minerales se interrelacionan y se equilibran entre si y no se pueden considerar como elementos independientes con funciones autosuficientes en los procesos corporales organizados ^{1,2}. Existen ejemplos importantes de interrelaciones entre elementos minerales, tales como la relación definitiva del calcio y el fósforo en la formación de huesos y dientes; y las interrelaciones entre hierro, cobre y cobalto, este último como parte de la vitamina B₁₂, en la síntesis de hemoglobina y la formación de eritrocitos, solo por mencionar algunos. ^{1, 2, 3, 11, 13, 14, 16, 19}

I.5 Las funciones de los minerales

Existen cuatro grandes funciones de los minerales: estructural, fisiológica, catalítica y reguladora y aunque no son exclusivas de algún elemento en particular, muchas de estas pueden ser desempeñadas por un mismo elemento en el mismo individuo. ^{1, 2, 11, 20, 24, 50}

Estructural: Los minerales pueden formar componentes estructurales de órganos y tejidos, tal como sucede con el calcio, fósforo, magnesio, flúor y silicio en huesos y dientes, y con el fósforo y el azufre en las proteínas musculares. Minerales como el zinc y el fósforo forman parte de moléculas y membranas, contribuyendo a su estabilidad estructural. ^{1, 2, 3, 24, 50}

Fisiológica: Los minerales se presentan como electrolitos en tejidos y fluidos corporales, interviniendo en el mantenimiento de la presión osmótica, del equilibrio ácido-base, de la permeabilidad de la membrana y de la irritabilidad tisular, elementos como el sodio, potasio, cloro, calcio y magnesio en sangre, líquido cefalorraquídeo, jugo gástrico y leche son ejemplos de fluidos donde desempeñan estas funciones. ^{1, 2, 3, 5, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 50}

Catalítica: Los minerales pueden actuar como catalizadores de sistemas enzimáticos y hormonales, como componentes integrales de la estructura de metaloenzimas o como activadores menos específicos de dichos sistemas-^{1, 2, 24, 50}

Reguladora: En los últimos años se ha descubierto que los minerales intervienen en la regulación de la replicación y diferenciación celular; el calcio, por ejemplo, influye en las señales de transducción y el zinc influye en la transcripción, además de otras funciones reguladoras importantes como por ejemplo el yodo como constituyente de la tiroxina^{1, 2, 19, 24, 50}.

Las concentraciones de los elementos esenciales deben mantenerse dentro de límites bastante estrechos para salvar la integridad funcional y estructural de los tejidos y para mantener, sin alteración alguna, el crecimiento, la salud y la productividad del animal^{1, 2, 50}.

La ingesta continua de una ración deficiente, desequilibrada o excesiva de un mineral provoca cambios en la forma y concentración de este en tejidos y fluidos corporales, hasta alcanzar valores por debajo o por encima de los límites permisibles^{2, 24}. En tales circunstancias pueden desarrollarse lesiones bioquímicas las cuales afectarán de manera adversa las funciones fisiológicas, presentándose así, trastornos estructurales que varían con el elemento, el grado y la duración de la deficiencia dietética o toxicidad, la edad, el sexo y la especie del animal afectado².

Cada uno de estos minerales tiene una función específica y actúan de manera sinérgica o antagónica con otro elemento, de modo que, cabe destacar de manera general, el papel que cada uno desempeña en el organismo.

Calcio (Ca): El calcio es el mineral más abundante en el organismo y la gran mayoría de este se encuentra en el esqueleto. Su función básica es proporcionar un armazón fuerte para soportar y proteger los órganos más delicados, para articular y permitir el movimiento y para ser maleable y así permitir el crecimiento ^{1, 2, 11, 24}. Adicionalmente, se encuentra una fracción extraósea de calcio que es importante para la vida, este se encuentra como ión libre unido a proteínas séricas o a ácidos orgánicos o inorgánicos y es un elemento esencial para que se cumplan funciones fisiológicas tan importantes como: la conducción del impulso nervioso y la contracción muscular, incluyendo el músculo cardíaco, además como activador o estabilizador de algunos sistemas enzimáticos y es necesario para la coagulación sanguínea ^{1, 2, 3, 11, 20, 24}. La deficiencia de este elemento en el organismo va muy ligada a otro elemento, el fósforo. La enfermedad más importante resultante de la deficiencia de Ca y P es el raquitismo (una concentración disminuida de Ca y P en las matrices orgánicas del cartílago y hueso). Los signos clínicos de estas deficiencias se ven principalmente en animales jóvenes y da como resultado la inhibición del crecimiento, pérdida de peso y de apetito. Estos signos son evidentes antes de que en el sistema óseo sea aparente ^{1, 2, 5, 11, 18, 20, 23, 24}.

Fósforo (P): Es el segundo mineral más abundante en el organismo animal, encontrándose un 80% de este en huesos y dientes, donde, al igual que el calcio, desempeña la función de formación y mantenimiento del hueso ^{1, 2, 24}. El 20% del fósforo restante se distribuye ampliamente en tejidos blandos y fluidos donde desempeña funciones muy importantes, como componente de los ácidos nucleicos, como parte de los fosfolípidos necesarios para la integridad y fluidez de la membrana celular, en procesos de equilibrio osmótico y el balance ácido-base, además de funciones metabólicas para la utilización y transporte de

energía^{1, 2, 11, 20, 21, 23}. Como se mencionó anteriormente, este elemento está relacionado íntimamente con el calcio, por lo que los signos de deficiencia tienen similitud, sin embargo, el exceso de fósforo en la dieta trae como resultado hiperparatiroidismo nutricional secundario debido al aumento en la resorción ósea de calcio, que es la consecuencia de una deficiencia crónica de este^{1, 2, 11, 23, 24}.

Magnesio (Mg): Este elemento, también, es de gran importancia en la formación y mantenimiento del tejido óseo del organismo, pero, por su cantidad se considera el segundo elemento en los líquidos intracelulares y orgánulos después del potasio. Se encuentra en bajas concentraciones, pero imprescindible, en líquido cefalorraquídeo, plasma y eritrocitos. Resulta de vital importancia en el metabolismo de carbohidratos, lípidos y proteínas como catalizador enzimático^{1, 2, 11, 20, 21, 23, 24}. La deficiencia de este mineral se manifiesta clínicamente por crecimiento retardado, hiperirritabilidad y tetania, vasodilatación periférica, anorexia, temblor muscular y convulsiones^{1, 2, 5, 11, 18, 20, 23, 24}.

Sodio (Na): Este elemento junto con el cloro, regulan el equilibrio ácido-base y controlan el metabolismo hídrico del organismo. El sodio es el catión más importante en el líquido extracelular, cuando la ingesta de sodio aumenta la ingesta de agua se ve incrementada, además se mantiene el equilibrio osmótico por la bomba $\text{Na}^+\text{-K}^+$. Esta bomba realiza el transporte activo del sodio haciendo que este fluya fuera de la célula como un producto energético del ATP, permitiendo que el agua fluya hacia la célula. También es importante en el proceso de generación de potenciales transmembrana que influyen en la excitación celular para la respuesta a estímulos. Es importante para la captación de glucosa y aminoácidos^{1, 2, 11, 20, 21, 23, 24}. La deficiencia de sodio se manifiesta por fatiga crónica,

anhidrosis y disminución de la turgencia cutánea, disminución de la producción láctea y espasmos musculares^{1, 2, 11, 20, 24}.

Potasio (K): Es el catión intracelular más importante y está involucrado en el mantenimiento del equilibrio ácido-base y presión osmótica y cuantitativamente es el ión más importante en la excitabilidad neuromuscular. La mayoría del potasio corporal se encuentra en el músculo esquelético, mientras que el 1.5 % del potasio total se encuentra en los fluidos extracelulares^{1, 2, 11, 20, 21, 24}. Los signos de la deficiencia de potasio son la disminución de apetito, disminución de crecimiento, fatiga, laxitud, parálisis muscular y de forma crónica esto ocasiona acidosis celular, degeneración de órganos vitales y padecimientos nerviosos^{1, 2, 11, 20, 24}.

Cobre (Cu): Este elemento es esencial para varias enzimas cobre-dependientes las cuales involucran la síntesis y mantenimiento de la elasticidad del tejido conectivo, movilización de depósitos de hierro, preservación de la integridad de la mitocondria, síntesis de melanina y detoxificación de los superóxidos. Las principales manifestaciones de deficiencia de cobre son anemia, diarrea, padecimientos óseos, desordenes reproductivos, nerviosos y cardiovasculares, acromotriquia y falla en la queratinización del pelo. En todas las especies existe una disminución del apetito y del crecimiento^{1, 2, 11, 20, 24}.

Selenio (Se): Es un componente esencial de la glutatión peroxidasa seleno-dependiente, la cual ayuda a la detoxificación de peróxidos de hidrógeno que son tóxicos para la membrana celular. También juega un papel importante en el control del metabolismo de la hormona tiroidea T₃. Fundamentalmente, la distrofia muscular o también llamada degeneración de Zenker en músculo cardíaco y esquelético es el síndrome más comúnmente encontrado

alrededor del mundo debido a la deficiencia de selenio, esto se puede caracterizar por dificultad respiratoria, taquicardia, dificultad en la locomoción y otros problemas asociados a la degeneración muscular ^{1, 2, 11, 20, 24}.

Zinc (Zn): Esta presente en el organismo como un componente de mas de 100 enzimas incluyendo muchas metaloenzimas, tales como la anhidrasa carbónica, la fosfatasa alcalina y las carboxipeptidasas. Las más altas concentraciones de zinc en el organismo están en coroides e iris y en la próstata, se pueden encontrar concentraciones muy bajas en sangre, leche, pulmones y cerebro. La deficiencia de zinc se ha establecido de manera experimental con una gran variedad de animales y en condiciones de campo naturales para cerdos, rumiantes, aves y humanos. La disminución en el apetito y en el crecimiento son los primeros efectos de la deficiencia, seguidos de paraqueratosis y pérdida de pelo, así como pérdida de la función gonadal y defectos inmunitarios. ^{1, 2, 11, 20, 24}.

I.6. Interacciones minerales

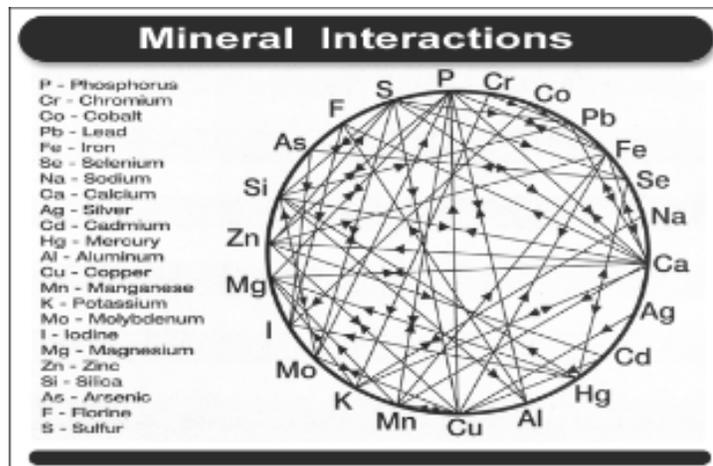
La respuesta de los animales a la presencia de los elementos esenciales en los alimentos depende de la concentración en la que se encuentran. Los niveles deficientes dan lugar a una respuesta subóptima, la cual mejora al aumentar la concentración hasta cubrir el requerimiento. Una vez rebasado este, se crea un desequilibrio que reduce la respuesta biológica. Con niveles superiores se puede presentar un efecto farmacológico, pero en mayores concentraciones causa un efecto indeseable de toxicidad ^{23, 24}.

Otro efecto que se advierte en los minerales, es la interacción entre estos, que puede ser de efecto sinérgico, es decir que dos minerales actúan de manera complementaria o ambos mejoran una función biológica; o antagónico, en donde la presencia de un mineral reduce el

transporte o la eficacia biológica del otro. Por otro lado, en el proceso de la digestión se puede aumentar o reducir la disponibilidad de los minerales debido a los cambios en la solubilidad, el pH, la carga eléctrica y la formación de complejos ²⁴.

La solubilidad de un mineral tiene un papel importante, este debe estar en contacto con la mucosa intestinal para que pueda ser absorbido, esto unido a la carga de este y a la fuerza de los enlaces químicos por medio de los cuales está unido a alguna sal u otro complejo ²⁴. Existen innumerables ejemplos de la acción antagónica o sinérgica de los minerales en el organismo, tanto humano como animal, tal como se muestra en la Figura 1i, ya sea por el estatus mineral del alimento al ser procesado, por las interacciones en el proceso de la digestión o por las características inherentes de cada uno de los elementos ²⁴.

Figura 1i. Esquema de interacciones entre minerales²⁴



I.7. Requerimientos de minerales en la lactación

La lactación en las yeguas es una de las etapas más importantes en la cría de caballos. Es importante tener en cuenta que la leche cambia su composición mineral a lo largo de la lactación y esto está condicionado genéticamente, dependiendo adicionalmente de la raza y la edad de la yegua.⁵

La producción de leche en la yegua es muy alta en las primeras semanas de la lactación, por consiguiente es necesario asegurar la calidad de esta proporcionando una ración que cubra los requerimientos de todos los nutrientes.

Los requerimientos minerales recomendados para yeguas próximas al parto y en las primeras etapas de la lactación, según el NRC (2006) se muestran en los cuadros 1 y 2 respectivamente:

Cuadro 1: Requerimientos minerales en el último tercio de la gestación en yeguas de 500 kg de PV/día²⁰

Calcio (g)	Fósforo (g)	Magnesio (g)	Potasio (g)	Sodio (g)	Cobre (mg)	Selenio (mg)	Zinc (mg)
36	26.3	7.7	25.9	11	125	1	400

Cuadro 2: Requerimientos minerales en lactación de yeguas de 500 kg de PV/día²⁰.

Mes de Lactación	Calcio (g)	Fósforo (g)	Magnesio (g)	Potasio (g)	Sodio (g)	Cobre (mg)	Selenio (mg)	Zinc (mg)
1	59.1	38.3	11.2	47.8	12.8	125	1.25	500
2	58.9	38.1	11.1	47.7	12.8	125	1.25	500
3	55.9	36	10.9	45.9	12.5	125	1.25	500
4	41.7	26.2	10.5	35.8	11.9	125	1.25	500
5	39.5	24.7	10.2	34.8	11.7	125	1.25	500
6	37.4	23.2	8.7	33.7	11.5	125	1.25	500

Como se mencionó anteriormente, la nutrición de la yegua gestante y lactante es crucial para el correcto desarrollo del potro, ya sea, *in útero* y una vez nacido. Cualquier desequilibrio en la concentración de nutrientes traerá como consecuencia la movilización de nutrientes de reserva los cuales son necesarios para el mantenimiento de la homeostasis, la embriogénesis y la posterior lactación.

En la actualidad, la investigación de los elementos de la leche esta enfocada a la cantidad de proteína, grasa y lactosa, lo cual ha dejado un poco de lado los elementos minerales que son de gran importancia para el potro recién nacido.

II. JUSTIFICACION

La nutrición juega un papel fundamental en la salud y el bienestar de seres humanos y animales, es por ello necesario conocer los requerimientos de las especies para lograr este bienestar. En los équidos no es la excepción este tópico, por lo que es de suma importancia proporcionarles una dieta balanceada que cumpla con estos requerimientos.

Una parte fundamental de una dieta balanceada son los minerales, debido a las funciones que cumplen en el organismo. Todas las etapas fisiológicas necesitan minerales dietarios en diferente proporción, pero la etapa de la lactancia es una de las más demandantes de nutrientes por lo que es necesario aportar la cantidad necesaria de estos para asegurar un desempeño óptimo del organismo.

La yegua en lactancia tiene requerimientos específicos de minerales que son necesarios para el mantenimiento de esta etapa por lo que es necesario proporcionarlos desde la gestación tardía para asegurar que no existan deficiencias de cualquiera de estos elementos, también es importante no aportar cantidades excesivas de minerales ya que se puede caer en efectos tóxicos que llevan a problemas en el parto y la posterior producción de leche, la que es muy importante para el potro recién nacido.

La información genética de la yegua dicta la calidad de la leche, pero la dieta es un factor determinante para que esta leche tenga los nutrientes necesarios y que el potro, al mamar, pueda obtenerlos, de ahí la importancia de proporcionar una dieta adecuada y conocer el perfil mineral de esta, así como de la leche que ingiere el potro y si existe movilización de elementos a partir de otros tejidos para cubrir estas demandas de nutrientes tan importantes en esta etapa de la vida de potros y yeguas.

III. HIPÓTESIS

Existe una asociación negativa en la concentración de minerales presentes en la leche de la yegua con la presencia de estos en pelo y sangre de esta misma y una asociación positiva entre la concentración minerales presentes en la leche de la yegua con la presencia de estos elementos en pelo del potro.

IV. OBJETIVOS

IV.1 Objetivo General

Determinar la asociación en el perfil de minerales (Ca, P, Mg, Na, K, Zn, Cu y Se) entre la leche, sangre, pelo de yeguas y pelo de sus potros de la UPM Montada durante los días 0, 2, 8, 32, 64 y 128 posparto.

IV.2. Objetivos Específicos

Determinar las concentraciones de minerales en la dieta ofrecida a las yeguas de la UPM Montada.

Determinar a diferentes momentos de la lactación, las concentraciones de minerales en leche, sangre y pelo de yeguas recién paridas y en pelo del potro, mediante espectrofotometría de absorción atómica.

Determinar si existe asociación entre las concentraciones de minerales entre la leche, sangre y pelo de yeguas en diferentes momentos de la lactación.

Determinar si existe asociación entre las concentraciones de minerales entre la leche de la yegua y el pelo del potro en diferentes momentos de la lactación.

V. MATERIAL Y MÉTODOS

Este trabajo se llevó a cabo, en dos fases: La fase de campo, en las instalaciones de la UPM Montada, ubicada en la Av. Guelatao #100, Colonia Álvaro Obregón, Iztapalapa, México, D. F. La fase de laboratorio se efectuó en el laboratorio de Toxicología del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia UNAM.

Para este estudio se utilizaron 7 yeguas, 4 de raza Azteca F (según clasificación de la Asociación Mexicana de Criadores de Caballos de Raza Azteca, A.C.)¹ y 3 de raza Appendix, recién paridas, vacunadas y desparasitadas en tiempo y forma, con sus respectivos potros.

El manejo de los animales se hizo de la forma en que se lleva a cabo normalmente en dicha unidad, donde se realizó un programa de monitoreo de yeguas en gestación y en lactación tomando muestras de sangre para estudios de hemograma y bioquímica sanguínea, que no fueron requeridos para este estudio.

Se obtuvo una muestra de 10 ml de calostro el día del parto y 10 ml de leche en los días, 2, 8, 32, 64 y 128 de lactación, almacenándose en frascos de boca ancha y se congelaron.

Se obtuvo, mediante corte con tijera, lo mas pegado a la epidermis, una muestra de aproximadamente 5 g de pelo de la crin tanto de las yeguas, como de sus respectivos potros, las cuales se almacenaron en bolsas de polietileno, los días 0, 2, 8, 32, 64 y 128 de la lactación.

Se obtuvieron muestras de sangre, previa asepsia de la zona del canal yugular y por punción con aguja hipodérmica, de la vena yugular de cada yegua, se colectó un volumen de 17 ml,

¹¹ Disponible en: <http://aztecas.jolalpan.com/cruzamiento.html>

de los cuales 7 ml de la sangre obtenida estuvo contenida en tubos de recolección de sangre al vacío con anticoagulante (EDTA) para obtener el plasma y los 10 ml restantes se almacenaron en tubos al vacío sin anticoagulante para obtener el suero que resultó de la separación natural del coágulo sanguíneo; esto se realizó en los días 0, 2, 8, 32, 64 y 128 pos-parto. Las muestras fueron almacenadas en refrigeración a 4°C hasta su procesamiento. Una vez obtenidas las muestras, se prepararon para su procesamiento según su naturaleza. Cada muestra de pelo se lavó con jabón neutro y se enjuagó con agua desmineralizada, una vez lavado, se tomó una cantidad de 200 mg de cada muestra. De las muestras de sangre se tomaron 2 ml de cada muestra para ser procesados. Una vez descongeladas las muestras de leche se tomaron 3 ml de cada muestra. Una vez obtenida la cantidad de pelo necesaria y las alícuotas se sometieron a una digestión ácida, de conformidad con la técnica descrita por Crismas *et al.* (1994), con la modificación en el volumen de ácido nítrico y de ácido perclórico que fue de 3 ml y 1 ml, respectivamente. Una vez digeridas se llevaron a un volumen de 25 ml con agua desmineralizada y se almacenaron en recipientes de nalgono con tapa hasta sus determinaciones²⁶.

Se determinaron en cada una de las muestras 5 macroelementos (Ca, Mg, P, Na, K) y 3 microelementos (Cu, Zn, Se).

Los elementos Ca, Cu, Zn, de cada muestra, se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica por el método de flama con un equipo de la marca Perkin Elmer modelo 3110 (Northwalk, EUA) y se establecieron las condiciones adecuadas de conformidad con las especificaciones del fabricante¹⁰.

Los elementos Mg, Na y K, de cada muestra, se determinaron por espectrofotometría de emisión atómica con un equipo de la marca Perkin Elmer modelo 3110 y se establecieron las condiciones adecuadas de conformidad con las especificaciones del fabricante¹⁰.

El elemento Se, para cada una de las muestras, se determinó mediante espectrofotometría de absorción atómica por generación de hidruros en un equipo marca Perkin Elmer modelo 3110 al cual se le acopla un generador de hidruros de la marca Perkin Elmer que a su vez tiene una celda de cuarzo que está en contacto con la flama del espectrofotómetro mencionado anteriormente. Este generador de hidruros, esta equipado con un recipiente en el cual se vierte una solución de borohidruro de sodio al 20%.

El elemento P, de cada una de las muestras, se determinó mediante la técnica de colorimetría por el método de metavanadato de molibdeno de conformidad con la metodología descrita por Tejada y colaboradores (1991), con la modificación en el volumen de la solución de metavanadato de molibdeno que fue de 2ml y se tomó una alícuota de la muestra de 200 μ l y se hizo el análisis instrumental en un equipo de espectrometría de luz ultravioleta y luz visible UV/VIS de la marca Perkin Elmer modelo Lambda 2S (Northwalk, EUA) y los recipientes de cuarzo correspondientes para lecturas, adecuados para el equipo, ajustándose las condiciones según las especificaciones del fabricante ³⁰.

Se tomaron muestras de los ingredientes de la dieta de las yeguas por el método de cuarteo para granos y forrajes de conformidad con la técnica descrita por Tejada (1992) ²⁹.

Se eligió de forma aleatoria un costal de 50 kg de alimento comercial y se extrajo por el método mencionado anteriormente 1 kg de dicho alimento. Una vez en el laboratorio, se obtuvo una muestra contractual 5 g la cual se maceró de forma manual. Una vez macerada se peso la cantidad de 1 g y se sometió a una digestión ácida de conformidad con la técnica descrita por Crismas *et al.* (1994), con la modificación en el volumen de ácido nítrico y de ácido perclórico que fue de 5 ml y 2 ml, respectivamente. Una vez digeridas se llevaron a un volumen de 25 ml con agua desmineralizada y se almacenaron en recipientes de nalgeno con tapa hasta sus determinaciones²⁶.

De la misma forma, se tomaron muestras de heno de alfalfa y heno de avena, se picaron para reducir su tamaño de partícula y se pesó 1 g de cada muestra y sometieron a una digestión ácida de conformidad con la técnica descrita por Crismas *et al.* (1994), con la modificación en el volumen de ácido nítrico y de ácido perclórico que fue de 5 ml y 2 ml, respectivamente. Una vez digeridas se llevaron a un volumen de 25 ml con agua desmineralizada y se almacenaron en recipientes de nalgeno con tapa hasta sus determinaciones²⁶.

Análisis Estadístico

Una vez obtenidos los resultados del análisis instrumental, los datos se analizaron bajo un modelo de análisis de varianza multivariado para observaciones repetidas utilizando como covariable el peso. Esto fue para determinar el comportamiento de las concentraciones a través del tiempo que duró el estudio. Los datos de los estimadores de las concentraciones que resultaron estadísticamente significativas se muestran en el Anexo II.

Después de haber realizado el análisis estadístico del comportamiento de los elementos minerales a través del tiempo en las diferentes muestras, se observó que solo en algunos datos existió variabilidad estadísticamente significativa, por lo que se realizó un análisis de regresión lineal para explicar el contenido de los diferentes minerales en leche de yeguas mediante el contenido de estos en sangre y pelo de las yeguas manteniendo como covariable el peso del animal.

Este análisis se realizó haciendo regresiones lineales simples con cortes en cada tiempo de muestreo para la identificación puntual de las respuestas de las concentraciones de minerales en leche y si estas tienen relación con las concentraciones en pelo y sangre.

Se realizaron los mismos análisis estadísticos con el fin de explicar la concentración de minerales en pelo de los potros a través de la concentración de estos en la leche de sus madres, tanto a través del tiempo, como en cortes en cada tiempo de muestreo..

Todos estos datos se analizaron con el paquete estadístico JMP 7.0 de SAS Institute en el Departamento de Genética y Estadística de la FMVZ- UNAM.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

VI. 1. Evaluación de la Dieta

Durante varios años de estudios, la investigación ha evidenciado que los nutrientes de la dieta juegan un papel fundamental en la salud y el bienestar animal, por lo que es necesario proporcionar a los animales dietas que cubran los requerimientos en cualquier etapa fisiológica de su vida. Esto lleva, al profesional de la salud animal, a afrontar nuevos retos sobre el como alimentar y al mismo tiempo, nutrir a las diferentes especies animales ^{1,2,7}.

En este estudio se evaluó la concentración de minerales en diferentes muestras de yeguas en lactación, pero no podía estar completo, sin saber la cantidad en la cual estos elementos se proporcionan a la dieta en esta etapa tan importante en las yeguas.

El National Research Council (NRC) en su emisión del Nutrient Requirements of Horses, 2006, establece requerimientos para caballos a partir de 200 kg de peso hasta los 900 kg de peso. Las yeguas destinadas para este estudio se midieron con cinta para estimar el peso el cual osciló entre los 430 y los 510 kg, lo que hace un promedio de peso de 457 kg, para los que se ajustaron los requerimientos de caballos de 500 kg, según lo establecido por NRC 2006. El consumo de materia seca es del 2.5% de peso corporal, que equivale a 11.425 kg de materia seca y se muestran en la cuadro 3.

Cuadro 3. Requerimientos de Proteína Cruda (PC), Energía Digestible (ED) y algunos minerales para yeguas con 457 kg peso promedio durante cuatro meses de lactación tomados y adaptados de la tabla establecida para yeguas de 500 kg según NRC (2006)

Mes Lactación	PC (g)	Mcal ED	Ca (g)	P (g)	Mg (g)	Na (g)	K (g)	Zn (mg)	Cu (mg)	Se (mg)
1	1402.99	29.01	54.04	34.96	10.16	11.65	43.75	457	114.25	1.14
2	1398.42	28.90	53.81	34.84	10.16	11.65	43.52	457	114.25	1.14
3	1341.295	27.99	51.06	32.90	9.93	11.42	41.92	457	114.25	1.14
4	1277.315	26.96	38.04	23.87	9.59	10.85	32.78	457	114.25	1.14

En la UPM Montada se suministran diariamente las cantidades de alimento que se muestran en el cuadro 4.

Cuadro 4. Ingredientes que componen la dieta de los caballos en la UPM, Montada

Ingrediente	kg en Base húmeda
Heno de Avena	15
Heno de Alfalfa	3
Alimento comercial	4
Total	22

En un estudio paralelo a este, se realizó el Análisis Químico Proximal (AQP) de los ingredientes cuyos valores condensados se presentan en el cuadro 5, 6 y 7.

Cuadro 5. Análisis Químico Proximal del Heno de Avena

	Resultados		
	BH	Base 90	Base 100
Materia Seca	89.27	90	100
Humedad	10.73	10	0
Proteína Cruda N *6.25	4.8	4.84	5.38
Extracto Etéreo	4.17	4.2	4.67
Cenizas	4.77	4.81	5.34
Fibra Cruda	26.8	27.02	30.02
ELN	48.74	49.13	54.59
TND	62	62.5	69.45
ED Kcal/kg	2733.38	2755.66	3061.84
EM Kcal/kg	2241.13	2259.4	2510.44

Cuadro 6. Análisis Químico Proximal del Heno de Alfalfa

	Resultados		
	BH	Base 90	Base 100
Materia Seca	89.92	90	100
Humedad	10.08	10	0
Proteína Cruda N *6.25	16.63	16.64	18.49
Extracto Etéreo	3.54	3.54	3.94
Cenizas	8.92	8.85	9.83
Fibra Cruda	20.79	20.81	23.12
ELN	40.05	40.09	44.54
TND	60.07	59.59	66.21
ED Kcal/kg	2648.34	2650.70	2945.22
EM Kcal/kg	2171.41	2173.34	2414.82

Cuadro 7. Análisis Químico Proximal del Alimento Comercial

	Resultados		
	BH	Base 90	Base 100
Materia Seca	92.03	90	100
Humedad	7.97	10	0
Proteína Cruda N *6.25	11.3	11.05	12.28
Extracto Etéreo	3.81	3.73	4.14
Cenizas	2.93	2.87	3.18
Fibra Cruda	3.8	3.72	4.13
ELN	70.19	68.64	76.27
TND	81.27	79.48	88.31
ED Kcal/kg	3583.19	3504.15	3893.50
EM Kcal/kg	2937.91	2873.11	3192.34

Se realizó el análisis de las muestras de los ingredientes de la dieta para conocer la concentración de minerales cuyos resultados se muestran en el cuadro 8.

Cuadro 8. Concentración de Minerales en los ingredientes de la dieta de yeguas de la UPM Montada

Ingrediente	Calcio (µg/g)	Fósforo (µg/g)	Magnesio (µg/g)	Sodio (µg/g)	Potasio (µg/g)	Zinc (µg/g)	Cobre (µg/g)	Selenio (µg/g)
H. Avena	780.49	5734.10	44.041	-201.707	18.534	26.020	0.758	-114.086
H. Alfalfa	3261.74	7155.56	43.536	1838.130	371.373	29.313	1.812	-177.689
Alimento Comercial	854.50	13229.05	38.733	359.045	87.228	23.604	0.758	-177.689

Se realizó la evaluación de la dieta ofrecida a yeguas en el periodo de lactación para los nutrientes Proteína Cruda (PC), Energía Digestible (Mcal ED), Calcio (Ca), Fósforo (P), Magnesio (Mg), Sodio (Na), Potasio (K), Zinc (Zn), Cobre (Cu) y Selenio (Se), los cuales, de acuerdo al porcentaje de inclusión en la dieta tuvieron los valores mostrados en el cuadro 9 y 10.

Cuadro 9. Cantidad de ingredientes en kg base húmeda (BH), porcentaje de materia seca (MS), kg de materia seca ofrecida y porcentaje de inclusión de cada ingrediente de la dieta

Ingrediente	kg Bh ofrecidos	% MS	kg MS ofrecida	% Inclusión
Heno Avena	15	89.27%	13.39	67.73
Heno Alfalfa	3	89.92%	2.70	13.65
Alimento Comercial	4	92.03%	3.68	18.62
Total	22		19.77	100

Cuadro 10. Porcentaje de PC, Mcal de ED/kg MS y concentración de macro y micro minerales

COMPOSICION NUTRICIA										
Ingrediente	PC (%)	Mcal ED/kg MS	Calcio (µg/g)	Fósforo (µg/g)	Magnesio (µg/g)	Sodio (µg/g)	Potasio (µg/g)	Zinc (µg/g)	Cobre (µg/g)	Selenio (ng/g)
Heno Avena	5.38	3.061	780.49	5734.10	44.041	-201.707	18.534	26.020	0.758	-114.086
Heno Alfalfa	18.49	2.945	3261.74	7155.56	43.536	1838.130	371.373	29.313	1.812	-177.689
Alimento Comercial	12.28	3.192	854.50	13229.05	38.733	359.045	87.228	23.604	0.758	-177.689

Con los datos obtenidos de los análisis instrumentales de los ingredientes se obtuvo el aporte de cada nutriente de acuerdo al porcentaje de inclusión por ingrediente en la dieta cuyos valores se muestran en el cuadro 11.

Cuadro 11. Aportes de nutrientes de acuerdo al porcentaje de inclusión de ingredientes de la dieta de yeguas en lactación

APORTE										
Ingrediente	PC (g)	Mcal ED/kg MS	Calcio (µg/g)	Fósforo (µg/g)	Magnesio (µg/g)	Sodio (µg/g)	Potasio (µg/g)	Zinc (µg/g)	Cobre (µg/g)	Selenio (ng/g)
Heno Avena	720.41	2.07	528.659	3883.924	29.831	-136.624	12.554	17.624	0.513	-77.275
Heno Alfalfa	498.79	0.40	445.077	976.404	5.941	250.820	50.675	4.000	0.247	-24.246
Alimento Comercial	452.05	0.59	159.114	2463.353	7.212	66.857	16.243	4.395	0.141	-33.087
Aporte Total	1671.25	3.07	1132.850	7323.682	42.984	181.054	79.472	26.019	0.902	134.608

Una vez obtenido el aporte de cada nutriente de los ingredientes de la dieta se ajustaron unidades y se cotejó con los requerimientos de la etapa. Se tomaron los requerimientos para los 4 primeros meses de lactación, cuyas diferencias, con respecto a la cantidad de nutrientes aportados, se presenta en el cuadro 12.

Cuadro 12. Diferencia en la cantidad de nutrientes aportados de acuerdo a los porcentajes de inclusión por ingrediente de la dieta

BALANCE										
Mes Lactación	PC (g)	Mcal ED/kg MS	Calcio (µg/g)	Fósforo (µg/g)	Magnesio (µg/g)	Sodio (µg/g)	Potasio (µg/g)	Zinc (µg/g)	Cobre (µg/g)	Selenio (ng/g)
1	268.26	0.53	-3597.15	4263.68	-847.02	-838.95	-3750.53	-13.98	-9.0984	-134.71
2	272.83	0.54	-3577.15	4273.68	-847.02	-838.95	-3730.53	-13.98	-9.0984	-134.71
3	329.95	0.62	-3337.15	4443.68	-827.02	-818.95	-3590.53	-13.98	-9.0984	-134.71
4	393.93	0.71	-2197.15	5233.68	-797.02	-768.95	-2790.53	-13.98	-9.0984	-134.71

Proteína Cruda

Según los requerimientos establecidos por el NRC 2006, la dieta evaluada tiene un desbalance importante en varios nutrientes. La cantidad de PC ofrecida (expresada en gramos) sobrepasa los requerimientos en 268.26, 272.83, 329.95 y 393.93 g en los meses 1, 2, 3 y 4 de la lactación, respectivamente, en los cuales el requerimiento promedio para estos 4 meses es de 1,355 g de PC y la dieta aporta el 1,671.25 g de PC total. El NRC (2006) anota que yeguas con una dieta con un aporte menor a 2.8 g PC/kg PV, pierden peso y producen menos leche que las alimentadas con al menos 3.2 g PC/kg PV, esto sugiere que si aun la yegua es alimentada con estas cantidades de proteína no se ve afectada la calidad de la leche, lo que evidencia que la yegua utiliza de manera eficiente las reservas proteicas del organismo, lo cual no es el caso de las yeguas de este estudio.

Energía Digestible

Yeguas que fueron alimentadas con buenos niveles de energía, no disminuyeron de peso durante la lactación. Doreau *et al.* mencionan que yeguas alimentadas con dietas altas en

energía por gran cantidad de concentrados, produjeron 10 % más leche que las alimentadas con dietas con altas inclusiones de forrajes, sin embargo, la leche de las yeguas alimentadas con mayor cantidad de energía inducida por altas cantidades de granos, fue baja en grasa en comparación a la leche de las yeguas alimentada con solo forrajes ^{20, 36}.

En este caso las yeguas de la UPM Montada, son alimentadas con dietas con una gran cantidad de forrajes (81% de inclusión) como se menciona en el cuadro 9. Esto ayuda en, cierta forma, a que la cantidad de energía digestible aportada en la dieta sea mayor al requerimiento de ésta en la etapa de lactación. La dieta de las yeguas es, en promedio, 0.6 Mcal ED/kg MS más alta en energía digestible que la sugerida por el NRC 2006 ²⁰.

Calcio

En el balance de la evaluación de la dieta se puede observar que hay una deficiencia importante de calcio para cubrir los requerimientos de la etapa. La dieta solo aporta 1.13 g de Ca/kg MS y el requerimiento promedio para la lactación es de 4.31 g de Ca/kg MS, por lo que hay una deficiencia de aproximadamente 3.17 g de Ca/kg MS en la dieta que equivale al 73.54% menos de la recomendación que hace el NRC 2006 ²⁰.

NRC 2006 anota que yeguas alimentadas con 20% menos calcio no tuvieron una recuperación completa de la densidad ósea del tercer metacarpo en las 20 semanas después de que la producción de leche cesó (40 semanas pos parto). Esto sugiere que las yeguas de recría que no son alimentadas con suficiente calcio durante la lactación podrían tener una demanda mayor de calcio a través de la siguiente gestación como un intento por restaurar la pérdida mineral del esqueleto durante la lactación ²⁰.

Fósforo

En la evaluación de la dieta se puede observar que existe un exceso de fósforo dietario con 7.32 g de P/kg MS cuyo requerimiento promedio para la lactación es de 2.77 g de P/kg MS. Esto se puede explicar debido a la gran cantidad de gramíneas que componen la dieta de las yeguas, donde solo con el porcentaje de inclusión del heno de avena se podrían cubrir los requerimientos de este mineral.

Magnesio

La evaluación de la dieta muestra que el aporte de magnesio de la dieta no cubre los requerimientos de la lactación de las yeguas. La concentración dietaria requerida de magnesio para la lactación es de 0.872 g Mg/kg MS y el aporte por parte de la dieta es de 0.043 g Mg/kg MS que deja un déficit de 0.83 g Mg/ kg MS.

Sodio

Los requerimientos promedio de sodio dietario para la etapa de lactación según NRC 2006 son de 0.99 g de Na/kg MS y el aporte de la dieta de las yeguas es de 0.18 g de Na /kg MS que da un déficit de 0.816 g de Na/kg MS, según lo reportado en el cuadro 11.

Potasio

De conformidad con las recomendaciones establecidas por NRC 2006, el requerimiento de potasio en la dieta debe ser de 3.54 g/kg MS. Este requerimiento no se cumple debido a que la dieta aporta únicamente 0.079 g de Na/kg MS, lo que deja un déficit de 3.47 g de Na/kg MS.

Zinc

El requerimiento promedio de Zinc de conformidad con las recomendaciones hechas por NRC 2006 para yeguas en lactación es de 40 mg de Zn/kg MS. El aporte de Zinc en la

dieta ofrecida a las yeguas de la UPM Montada es de 26.01 mg de Zn/kg MS. Se observa una deficiencia de 13.98 mg de Zn/kg MS.

Cobre

La recomendación que hace el NRC 2006 sobre el requerimiento de cobre dietario es de 10 mg de Cu/kg MS. El aporte dietario es de 0.906 mg de Cu/kg MS lo que deja un déficit de 9.098 mg de Cu/kg MS.

Selenio

La publicación de Nutrient Requirements of Horses de 2006 recomienda que la concentración dietaria de selenio sea de 0.1 mg de Se/kg MS. La concentración dietaria de este elemento en la dieta ofrecida a las yeguas, no es detectable por el equipo de espectrofotometría de absorción atómica por generación de hidruros, por lo que se considera que este elemento se encuentra en concentraciones ultratraza.

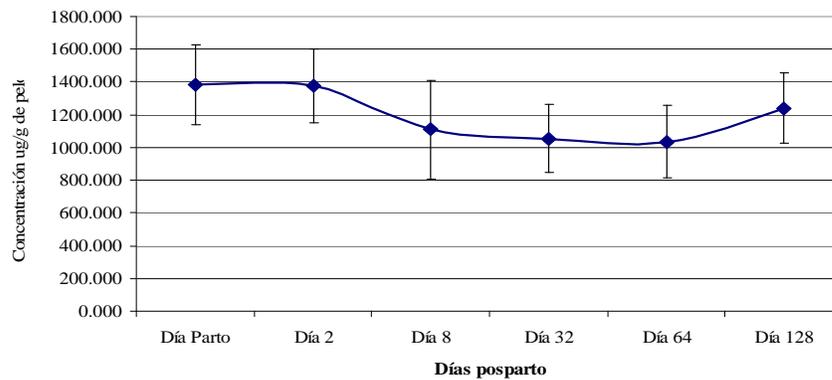
Una vez realizado el análisis instrumental de las muestras, se obtuvieron resultados preliminares, los cuales se analizaron y se ajustaron a las concentraciones estándar de conformidad con las metodologías establecidas en el laboratorio y utilizadas para la realización de este estudio. Obtenidas las concentraciones, se promedió cada tiempo de muestreo y se clasificaron por elemento y por tipo de muestra (pelo, sangre, leche y pelo de los potros) y con su respectiva desviación estándar, cuyos datos se muestran en los cuadros del Anexo I.

VI.2. Minerales en Pelo

Calcio

En el Figura 1 se muestra la concentración promedio de calcio en pelo de yeguas en el periodo de lactación.

Figura 1. Concentraciones promedio de calcio en pelo de yeguas



Se cuantificó la concentración de calcio para el grupo de yeguas en un periodo de la etapa de la lactación. Los datos mostrados indican que el día del parto la concentración promedio de calcio fue de $1,384.56 \pm 245 \mu\text{g/g}$ de pelo. Se observó una disminución de la concentración promedio en el día 8, 32, 64 posparto, donde las concentraciones fueron $1,108.545 \pm 300.084$, $1,053.342 \pm 207.608$ y $1,035.275 \pm 219.860 \mu\text{g/g}$ de pelo respectivamente, esto coincide con el inicio y el clímax del pico de la lactación donde los requerimientos de calcio aumentan de forma considerable ^{4, 7, 8}. Estos requerimientos deberán ser cubiertos por la dieta, de no ser así, el organismo toma medidas para satisfacer las concentraciones requeridas, tanto en suero como en leche, esto lo realiza disminuyendo la deposición de calcio en la matriz del folículo piloso o activando los mecanismos de regulación sérica de calcio, obteniendo este, de las reservas óseas ^{1,2}.

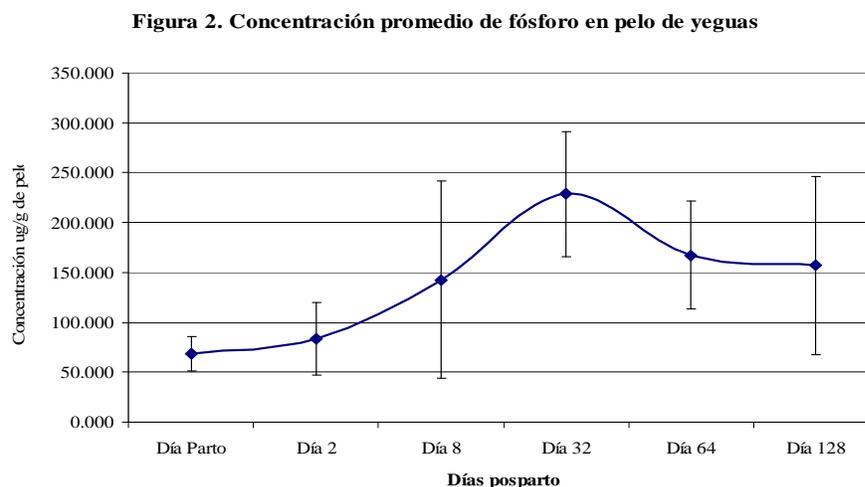
El resultado obtenido del muestreo del día 128 posparto, muestra que existe una ligera recuperación en la concentración promedio de calcio en pelo $1,240.030 \pm 212.753 \mu\text{g/g}$ de pelo, esto corresponde a que esta es una de las últimas fases del periodo de la lactación donde el requerimiento disminuye y se reactiva la deposición de calcio en los tejidos, sean estos huesos o pelo ²⁰.

Los resultados de este trabajo son similares a los reportados por Kienzle E., quien realizó un estudio en el que cuantificó la concentración promedio de calcio en pelo de gatas lactantes, para estimar requerimientos de nutrientes, donde estimó $1,200 \mu\text{g/g}$ de pelo seco ³⁹.

A pesar que el calcio es un elemento de gran importancia metabólica y cumple funciones vitales, de conformidad con lo establecido por McDowell y Underwood, en el pelo no es una herramienta diagnóstica que proporcione un panorama del estado general de este mineral en el organismo de conformidad con lo establecido por Combs *et al.* y Combs ^{1, 2, 31, 32}.

Fósforo

En el Figura 2 se muestra la concentración promedio de fósforo en pelo de yeguas durante el periodo de lactación.



La concentración de fósforo en pelo durante el periodo de lactación se determinó mostrando que el día del parto fue de $68.508 \mu\text{g/g}$ de pelo con aumentos subsecuentes en los días 2 y 8 días posparto, hasta el día 32 posparto donde se registró la concentración más alta con $228.559 \pm 62.408 \mu\text{g/g}$ de pelo donde comenzó a descender y en el día 64 posparto cuya concentración fue de $167.298 \pm 54.309 \mu\text{g/g}$ de pelo y en el día 128 posparto de $157.088 \pm 89.216 \mu\text{g/g}$ de pelo.

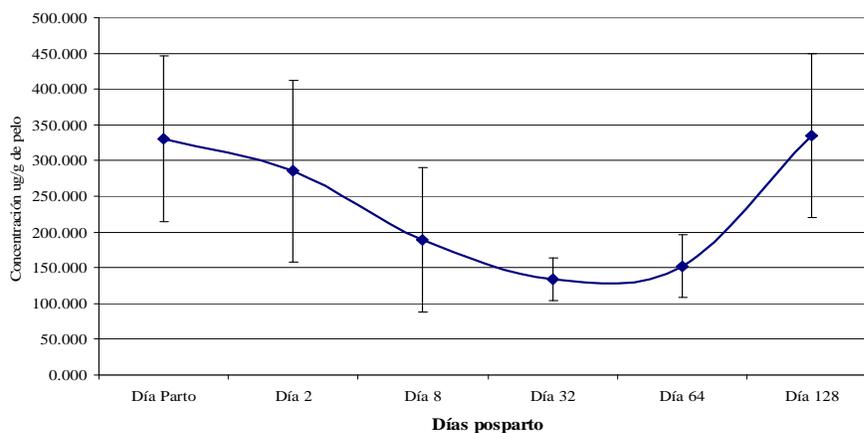
La concentración de fósforo en pelo al inicio de la lactación es baja debido a que el requerimiento de fósforo en el primer tercio de la lactación es alto para el mantenimiento de los procesos homeostáticos de este, además de que la leche es una secreción apócrina donde no solo se vierten los productos del lactocito, sino parte de la membrana de ésta ³⁴. Esta membrana está compuesta de una bicapa lipídica constituida de fosfolípidos los cuales requieren grandes cantidades de fósforo para su formación, además que la leche es un producto de alta demanda energética, la cual es obtenida de las diferentes rutas metabólicas propias de la célula donde los procesos de fosforilación dan como resultado adenin monofosfato (AMP), adenin difosfato (ADP) y adenin trifosfato (ATP) de donde se obtiene la energía necesaria para procesos vitales de conformidad con lo establecido por Burton y Routh ⁴⁰.

El aumento en la concentración de fósforo en pelo en el día 64 de la lactación puede evidenciar que la deposición de este aumentó de manera considerable, ya que el fósforo es necesario para la formación de pelo además del transporte de nutrientes dependiente de energía en el folículo piloso ³⁷. La concentración en pelo en el día 128 disminuye, aunque no de forma considerable, esto depende de la producción láctea, si esta disminuye, la deposición aumenta en la matriz folicular y los procesos de regulación actúan para mantener los niveles adecuados, tanto en suero sanguíneo, como en leche.

Magnesio

En la Figura 3 se observan las concentraciones de magnesio en pelo durante el periodo de lactación.

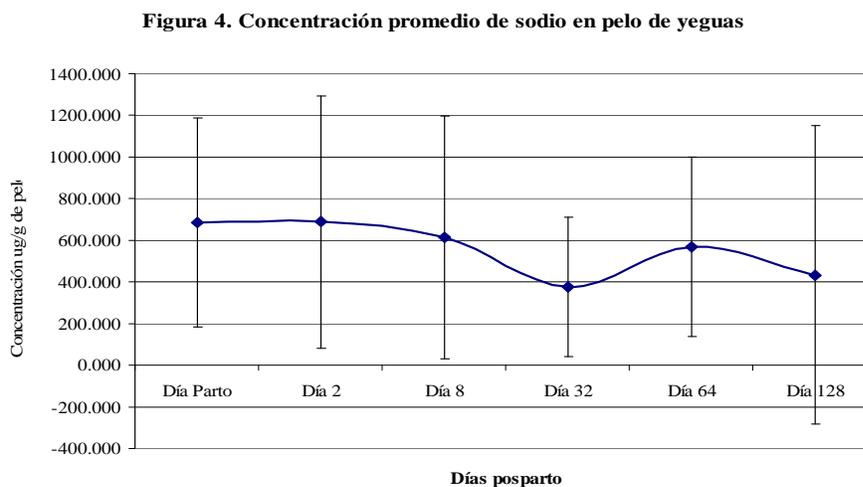
Figura 3. Concentración promedio de magnesio en pelo de yeguas



Se muestran los datos de la concentración de magnesio en el pelo de la yegua cuya concentración el día del parto fue de $330.348 \pm 116.674 \mu\text{g/g}$ de pelo, descendiendo a su concentración más baja en el día 32 con $134.036 \pm 29.420 \mu\text{g/g}$ de pelo lo que corresponde al pico de la lactación de conformidad con lo reportado por Santos *et al.*, se puede explicar esta concentración debido a que la demanda de nutrientes para cumplir la concentración de magnesio en leche es alta, y disminuye la deposición de magnesio en pelo, adicionalmente, Combs *et al.* y Combs menciona que la concentración de magnesio tiene una correlación positiva con respecto a la dieta, puesto que los forrajes son deficientes en magnesio^{31, 32, 41}. Esto convierte al pelo, junto con un análisis de la concentración de magnesio en sangre, en una herramienta diagnóstica que indica la concentración de este mineral en el organismo. Se encontró que en el día 128 de la lactación la concentración de magnesio en pelo fue de $334.749 \pm 114.060 \mu\text{g/g}$ de pelo, lo que tiene una correlación negativa conforme se acerca el final de la curva de lactación.

Sodio

Se determinó la concentración promedio de sodio en pelo de las yeguas, datos que se muestran en la Figura 4.

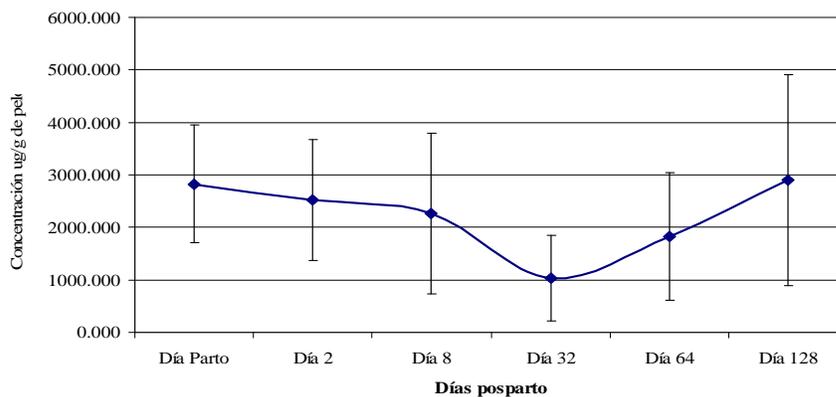


La concentración promedio de sodio en pelo de yeguas se mantuvo constante hasta el día 32 de la lactación, donde hubo una disminución significativa, con respecto de las concentraciones de los días de muestreo anteriores, la cual fue de $375.813 \pm 336.022 \mu\text{g/g}$ de pelo. Esta disminución en la concentración, puede estar dada debido a que los requerimientos en la lactación de los diferentes minerales están aumentados en el pico de la lactación. Al aumentar la producción de leche necesita una mayor cantidad de sodio para mantener la presión osmótica en la glándula mamaria de la misma manera que lo hace la lactosa.³⁴ El sodio es un mineral que tiene mucha importancia en el mantenimiento de gradientes de concentración y en potenciales electro-químicos de membrana por lo que al estar en bajas concentraciones en la dieta, al administrar bajas cantidades de sal, el organismo deja de depositar sodio en la matriz folicular ya que este elemento no se reserva en ningún lugar del organismo¹.

Potasio

La concentración promedio de potasio en pelo de las yeguas se cuantificó y el comportamiento a través del tiempo se muestra en la figura 5.

Figura 5. Concentración promedio de potasio en pelo de yeguas

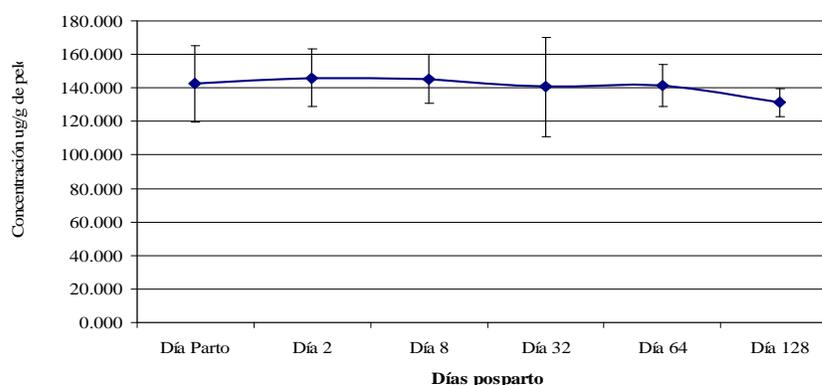


Es de notarse que el momento más importante en la dinámica de minerales en el pelo de las yeguas es en el día 32 de la lactación, donde, para el potasio, al igual que ocurre con el sodio, disminuye la concentración promedio en pelo a $1,032.960 \pm 817.186 \mu\text{g/g}$ de pelo. La disminución en la concentración promedio de este mineral en pelo, se debe al cese de la deposición de potasio en la matriz folicular, ya que este mineral no se almacena en el organismo para ser posteriormente utilizado, como sería el caso de calcio o fósforo. El potasio debe encontrarse en equilibrio con sodio ya que permanecen en diferentes proporciones dentro de la célula y un desequilibrio traería como consecuencia el desequilibrio osmótico que dañaría la integridad de la célula.^{1,2}

Zinc

La concentración promedio de zinc en pelo se determinó para establecer el comportamiento de este mineral a través de la lactación. Esto se muestra en la figura 6.

Figura 6. Concentración de zinc en pelo de yeguas

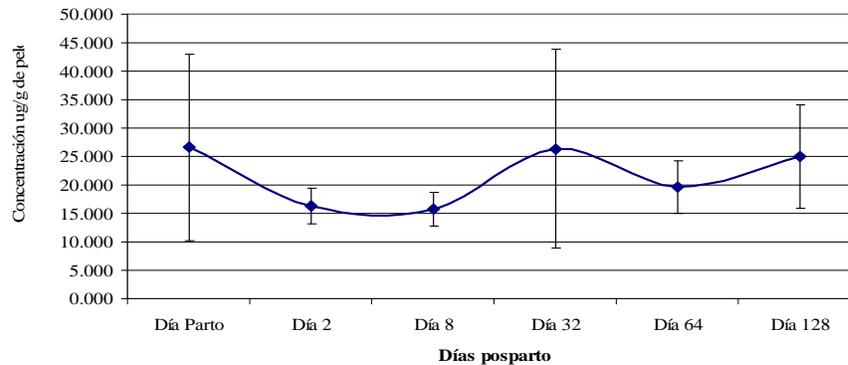


Una vez hecho el análisis de las muestras se observó la concentración promedio de zinc en pelo de yeguas durante la lactación, iniciando el día del parto con $142.488 \pm 22.867 \mu\text{g/g}$ de pelo donde la concentración mas baja fue en el día 128 de lactación con $141.320 \pm 12.240 \mu\text{g/g}$ de pelo. Asano *et al.*, encontraron una concentración de $200.904 \pm 47.483 \mu\text{g/g}$ de pelo que fue similar a aquella encontrada en humanos y en perros⁴². Otras condiciones que pueden afectar la concentración de zinc en pelo es el color de este, pero en este estudio no se tomó en cuenta este efecto. McDowell menciona que el zinc no es removido a tejidos blandos de órganos reservorio, de modo que la concentración de zinc en pelo depende de la concentración de zinc en la dieta, de conformidad con lo establecido por Combs et al. y Combs, así como, la concentración de este en leche de conformidad con Csapó-Kiss *et al.*¹,

Cobre

Se determinó la concentración promedio de cobre en pelo de yeguas en lactación, la cual se muestra en la Figura 7.

Figura 7. Concentración promedio de cobre en pelo de yeguas



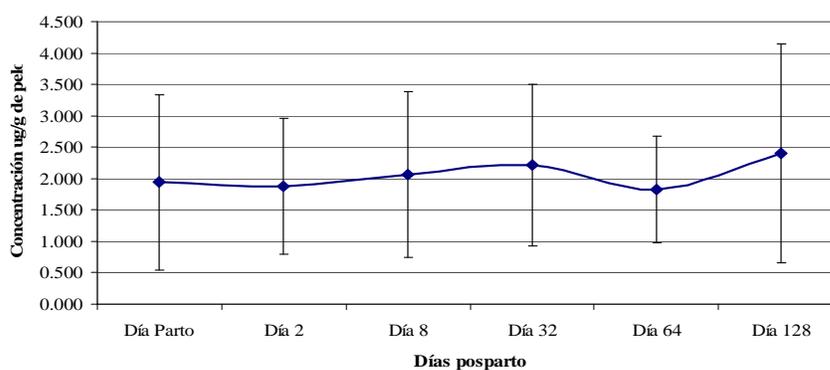
Se observa que la concentración promedio de cobre en pelo tiene altibajos durante el periodo de la lactación iniciando con $26.601 \pm 16.374 \mu\text{g/g}$ de pelo con la disminución progresiva hasta antes del día 32 de la lactación donde la concentración aumenta, casi hasta el nivel inicial reportado para el día del parto, la cual fue de $26.347 \pm 17.460 \mu\text{g/g}$ de pelo. Este aumento de la concentración promedio de cobre en pelo en el día 32 de la lactación, corresponde con el inicio del pico de la lactación, no se disponen de datos donde se mencione si este aumento tenga efecto en la concentración de cobre en la leche. Otro factor que afecta la concentración de cobre es la interacción que tiene este con molibdeno, pero de conformidad con lo establecido por Cape y Hintz, el molibdeno dietario no tiene ningún efecto sobre la concentración de cobre en pelo⁴³. Esta interacción por la cual se ve disminuida la absorción de cobre es en intestino delgado, a nivel de duodeno, por lo que si la concentración de molibdeno es adecuada, al igual que la de cobre, no habrá signos de deficiencia. Un signo de la deficiencia de cobre en pelo, sería evidente en la pobre queratinización de este, además de la pobre pigmentación en pelo oscuro, ya que este mineral participa activamente en la queratogénesis y en los

procesos de pigmentación de pelo y piel ^{1,2}. Se observa que la concentración promedio de cobre en pelo reportada en este estudio, fue superior a la reportada por Cape y Hintz de $12.4 \pm 4.6 \mu\text{g/g}$ de pelo, Asano *et al.*, de $6.546 \pm 2.162 \mu\text{g/g}$ de pelo, en caballos jóvenes en mantenimiento ^{42,43}.

Selenio

Se midió la concentración promedio de selenio en pelo de yeguas durante diferentes momentos del periodo de lactación, como se muestra en la Figura 8.

Figura 8. Concentración promedio de selenio en pelo de yeguas



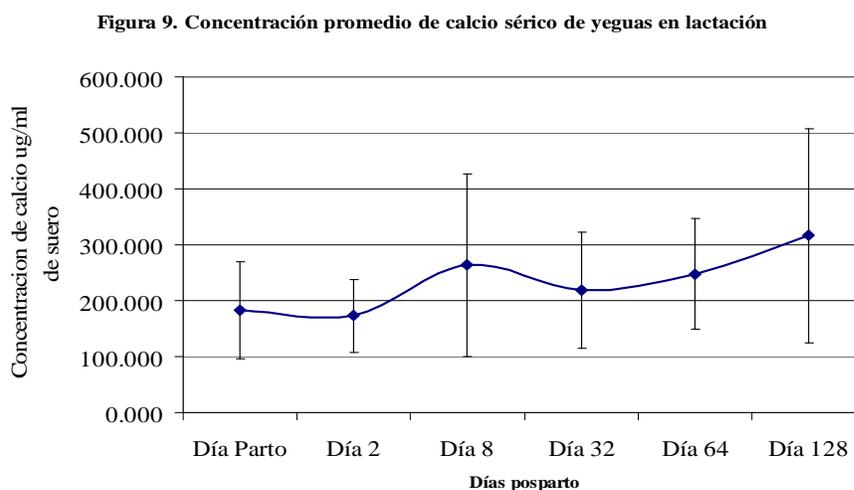
La concentración promedio de selenio en pelo de yeguas en lactación se mantuvo con ligeras variaciones, hasta el día 64 posparto donde tuvo una ligera disminución de la concentración $1.833 \pm .846 \mu\text{g/g}$ de pelo. La concentración aumenta para el día 128 de la lactación a $2.4 \pm 1.738 \mu\text{g/g}$ de pelo. El selenio es un elemento importante para los sistemas de protección contra la peroxidación de las membranas, ya que forma parte de la enzima glutatión peroxidasa dependiente de selenio, esto hace que juegue un papel fundamental en la salud celular, por lo tanto debe satisfacer el requerimiento de forma justa. Se reconoce que los suelos de la zona centro y sur de la Republica Mexicana, no poseen grandes cantidades de selenio, de modo que los alimentos, provenientes de estas zonas, que se obtienen para los herbívoros, son deficientes en este elemento, por lo que este es utilizado de manera eficiente en el organismo. Para que este sea absorbido de manera eficiente

dentro del tubo digestivo, debe estar unido a aminoácidos azufrados, tales como metionina o cisteína, dando como resultado seleno-metionina y seleno-cisteína, los cuales pueden ser incorporados a la matriz folicular directamente ya que el pelo esta constituido por queratina, que es una proteína, en cuya configuración química, el aminoácido cisteína es fundamental para esta estructura³⁷. El pelo contiene una cantidad considerable de selenio, en mayor concentración que la leche de conformidad con lo reportado por McDowell y Underwood^{1,2}. Asano *et al.*, realizaron un estudio de validación de una técnica espectrofotométrica con emisión de rayos x, con la que obtuvo concentraciones muy bajas de selenio en muestras de pelo de équidos del orden de 0.581 ± 0.346 $\mu\text{g/g}$ de pelo, estas con respecto de las encontradas en este estudio donde la concentración mas baja fue de 1.833 ± 0.846 $\mu\text{g/g}$ de pelo que corresponde al doble de la concentración encontrada por Asano *et al.*⁴².

VI.3. Minerales Séricos

Calcio

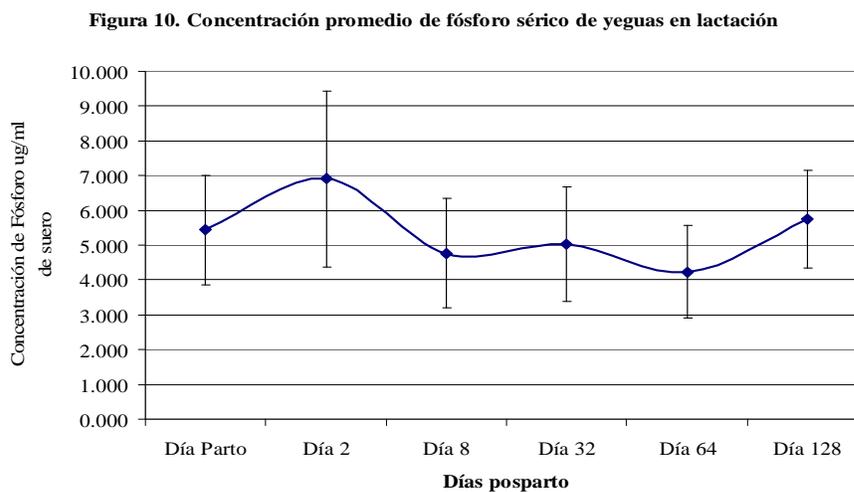
Se determinó la concentración promedio de calcio sérico en yeguas durante el periodo de lactación, se muestra el comportamiento de este en la Figura 9.



Una vez determinada la concentración promedio de calcio sérico de yeguas, se observó que el día del parto fue de $183.495 \pm 86.587 \mu\text{g/ml}$ de suero y en el día 2 posparto fue de $172.745 \pm 64.587 \mu\text{g/ml}$ de suero. Estas concentraciones se encuentran disminuidas con respecto a las concentraciones de los días posteriores, esto, de conformidad con lo establecido por Martin *et al.*, quienes postularon que las concentraciones de calcio sérico total comienzan a disminuir 7 días antes del parto hasta el tercer o cuarto día posparto, que comienzan a tener una recuperación para satisfacer las necesidades de calcio de la leche⁴⁴. Martin *et al.*, reportaron concentraciones séricas de $126.5 \pm 1.3 \mu\text{g/ml}$ de suero en el día del parto y $116.1 \pm 2.4 \mu\text{g/ml}$ de suero para el día 2 posparto, las cuales estuvieron por debajo de los resultados obtenidos en este estudio⁴⁴.

Fósforo

En la Figura 10 se muestra la concentración promedio de fósforo en suero de yeguas en lactación.



La concentración promedio de fósforo sérico tuvo un comportamiento inverso a la concentración de calcio. Al día del parto la concentración promedio fue de $5.435 \pm 1.559 \mu\text{g/ml}$ de suero, con un aumento hasta $6.910 \pm 2.535 \mu\text{g/ml}$ de suero en el día 2 de la

lactación, que fue la concentración más alta durante el periodo de muestreo. Estos valores no tuvieron variaciones significativas durante el periodo y para el día 128 pos parto, la concentración casi había vuelto a una concentración similar a la del día del parto 5.742 ± 1.405 $\mu\text{g/ml}$ de suero.

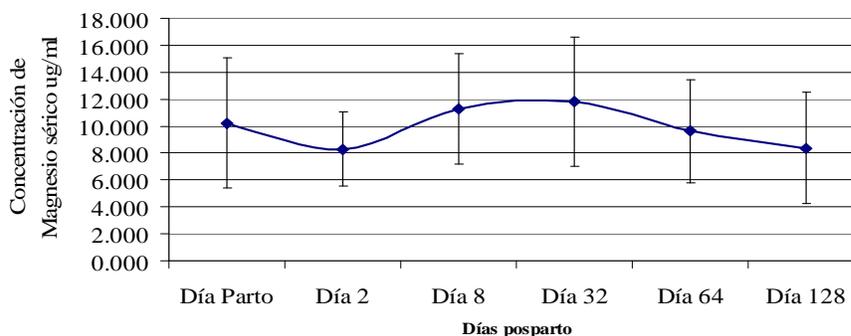
Las concentraciones encontradas en este estudio, no corresponden a las reportadas por NRC 2006 ni por Cymbaluk *et al.*, pero el comportamiento a través del tiempo fue similar^{20, 48}.

Estas bajas concentraciones promedio de fósforo pueden explicarse debido a que la concentración promedio de fósforo en leche de las yeguas de este estudio, fue muy alta con respecto a las encontradas en otros estudios, además que la concentración de fósforo en la dieta está moderadamente alta. Esto puede dar un panorama en cuanto a que los procesos de homeostasis de fósforo, como de calcio, están activados y el organismo de las yeguas está tomando las acciones necesarias para equilibrar estos minerales. En virtud a lo establecido por NRC 2006, estas pérdidas de minerales óseos no son recuperables a corto plazo por lo que al tener una deficiencia crónica de estos y otros minerales, además de que la etapa de lactación es muy demandante nutricionalmente hablando, las concentraciones de varios tejidos y fluidos del organismo se verán afectados por estas deficiencias. Estos datos se discuten en la sección de comportamiento de minerales en leche²⁰.

Magnesio

La concentración promedio de magnesio sérico de yeguas en lactación, se muestra en la Figura 1.

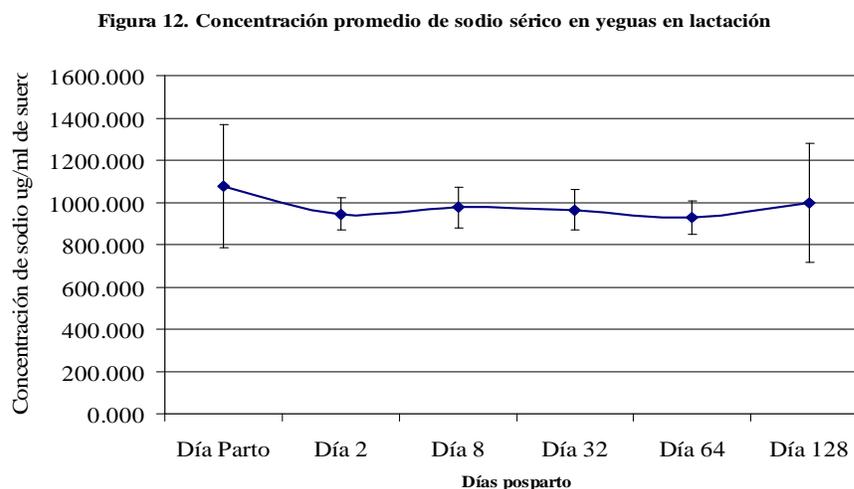
Figura 11. Concentración promedio de magnesio sérico de yeguas en lactación



La concentración de magnesio promedio de las yeguas tuvo movilizaciones importantes durante el periodo de muestreo de este estudio. Se puede observar que al día del parto, la concentración sérica de magnesio fue de $10.229 \pm 4.817 \mu\text{g/ml}$ de suero, la cual tuvo una disminución $8.300 \pm 2.750 \mu\text{g/ml}$ de suero hacia el día 2 posparto. A partir de este día se registra un aumento en la concentración promedio hasta el día 32 posparto, el cual es el nivel más alto cuyo valor fue de $11.802 \pm 4.797 \mu\text{g/ml}$ de suero coincidiendo con el inicio del pico de lactación. Este aumento se puede explicar debido a que existen procesos de regulación de magnesio sérico, pero no son tan rigurosos como los sistemas para la regulación de calcio y fósforo, de modo que si la concentración dietaria de magnesio no es la adecuada, este puede salir de las reservas óseas para satisfacer la concentración de la leche sin tener una repercusión tan importante como en el caso de calcio y fósforo, tal como lo mencionan McDowell y Underwood^{1, 2}. Berlin *et al.*, reportan que la concentración promedio de magnesio sérico es de $18.4 \pm 3.6 \mu\text{g/ml}$ de suero ($0.76 \pm 0.15 \text{ mmol/L}$) que fue mayor a cualquiera de las concentraciones promedio de los tiempos de muestreo encontradas en este estudio⁴⁵. Posterior al día 32 posparto, la concentración disminuye paulatinamente hasta $8.364 \pm 4.125 \mu\text{g/ml}$ de sangre en el día 128 pos parto.

Sodio

Se muestra en la Figura 12 la concentración promedio de sodio sérico de yeguas en lactación.

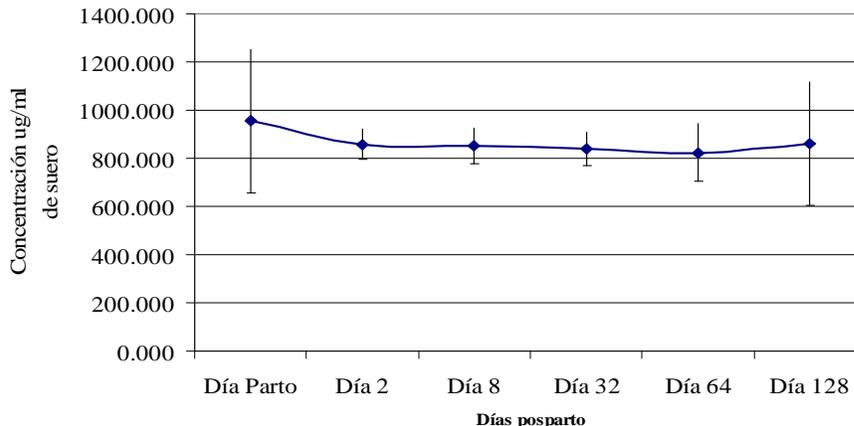


Como se ha mencionado anteriormente, el sodio es un elemento importantísimo para el mantenimiento de la presión osmótica de los fluidos extracelulares y para el equilibrio de los líquidos que ingresan a la célula^{1,2}. La presión osmótica es necesaria también en la luz de los vasos sanguíneos y es dada por este elemento y otras moléculas. En la lactación, el requerimiento de este mineral se incrementa, no solo para mantener la presión interior de los vasos sanguíneos, si no para proporcionar esta y la concentración necesaria en la glándula mamaria y en la secreción de esta, además de la lactosa⁴⁶. En este estudio se encontró que los niveles de sodio sérico fueron de $1,075.829 \pm 290.269$ µg/ml de suero al día del parto, donde tuvo la concentración más alta y de 996.666 ± 280.758 µg/ml de suero en el día 128 posparto, teniendo variaciones no significativas durante el periodo de muestreo

Potasio

En la Figura 13 se muestra el comportamiento, a través del tiempo de muestreo, de la concentración promedio de potasio sérico en yeguas en lactación.

Figura 13. Concentración promedio de potasio sérico de yeguas en lactación

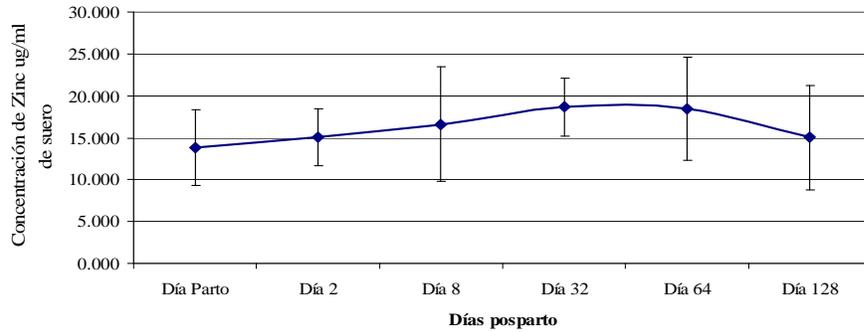


Se observa la concentración de potasio en el día del parto con una valor promedio de $954.470 \pm 299.486 \mu\text{g/ml}$ de suero. Esta concentración presentó ligeras variaciones durante el periodo de lactación, pero no de manera importante. La concentración de potasio encontrada en este trabajo fue superior a las reportada por NRC 2006, $75.245 - 168.64 \mu\text{g/ml}$ de suero y $120.392 \mu\text{g/ml}$ de sangre, respectivamente^{1,20}. Sodio y potasio son responsables de la presión osmótica y el balance de aniones-cationes de los fluidos corporales, por lo que en la etapa de lactación la demanda de estos electrolitos es alta para mantener la presión osmótica y equilibrio ácido-base en el epitelio mamario. Los niveles adecuados de sodio y potasio dietarios proporcionarán, en gran medida, los recursos necesarios para el cumplimiento de las funciones del lactocito. Estos elementos son llevados a la glándula mamaria a través de la sangre, que está en íntimo contacto con el epitelio secretor de esta glándula y por transporte activo se equilibra la cantidad de líquido que pasa a través de la membrana del lactocito y la relación de estos electrolitos dentro de este.

Zinc

Se muestra en la Figura 14 la concentración sérica promedio de zinc de yeguas en lactación

Figura 14. Concentración promedio de zinc sérico en yeguas en lactación

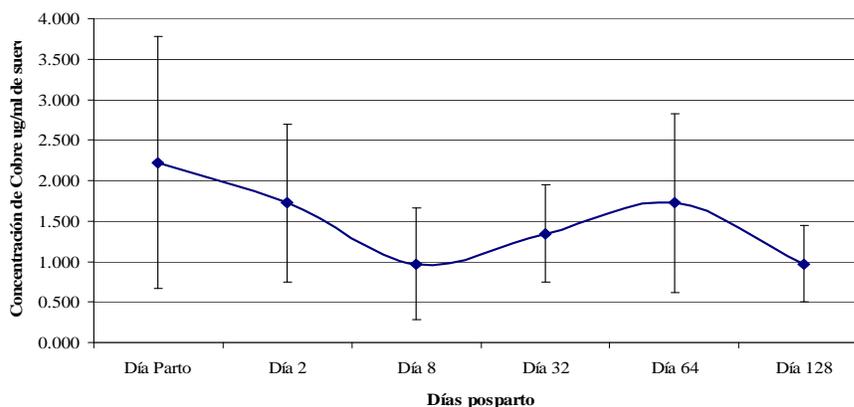


La concentración de zinc en suero en el día del parto fue de $13.803 \pm 4.491 \mu\text{g/ml}$ de suero la cual alcanzó su punto mas alto alrededor del día 32 posparto con una concentración de $18.687 \pm 3.463 \mu\text{g/ml}$ de suero llegando al día 128 a una concentración de $15.001 \pm 6.252 \mu\text{g/ml}$ de suero. Se sabe que la concentración de zinc en el organismo depende de la concentración dietaria de este, sin embargo NRC 2006 menciona que la concentración sérica de zinc no es un buen indicador del estado de este en el organismo, debido a que se encuentra en concentraciones muy diversas en el cuerpo de los animales^{1, 2, 20, 50}. Estos autores mencionan que las concentraciones séricas de zinc son del orden de $3-7 \mu\text{g/ml}$ de suero, pero en este estudio las concentraciones fueron muy superiores a estas.

Cobre

Se determinaron las concentraciones promedio de cobre en suero de yeguas durante el periodo de lactación, estos datos se muestran en la Figura 15.

Figura 15. Concentración promedio de cobre sérico de yeguas en lactación

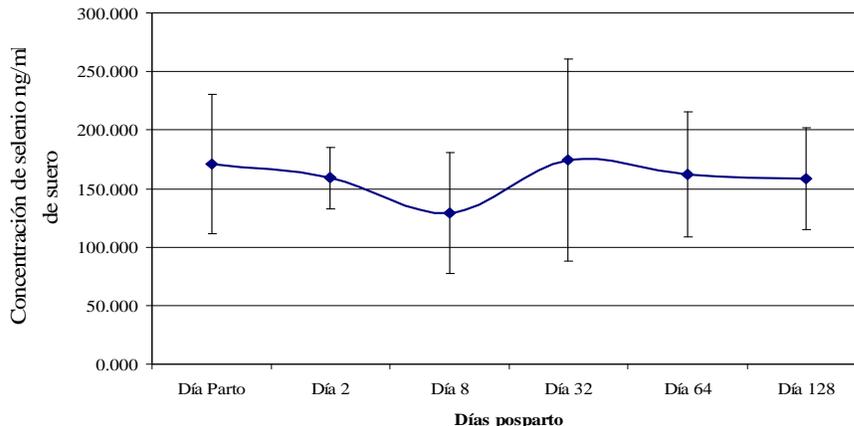


La concentración promedio de cobre en sangre de yeguas el día del parto fue de $2.224 \pm 1.554 \mu\text{g/ml}$ de suero la cual fue disminuyendo hasta el día 8 donde fue el punto mas bajo con $0.972 \pm 0.690 \mu\text{g/ml}$ de suero, subió paulatinamente hasta el día 64 posparto donde recuperó una concentración, similar al día 2 posparto, de $1.723 \pm 1.099 \mu\text{g/ml}$ de suero y el día 128 termino el periodo de muestreo de con $0.972 \pm 0.469 \mu\text{g/ml}$ de suero. Breedveld *et al.*, reportaron concentraciones de $89.58 \pm 6.98 \mu\text{g/ml}$ de suero la cual está muy por encima de lo reportado en este estudio⁴⁷. NRC 2006 reporta que los niveles marginales de cobre donde se pueden presentar problemas ortopédicos en caballos está en $0.1 \mu\text{g/ml}$ de cobre sérico²⁰. Cymbaluk *et al.*, McDowell, Underwood Georgievskii y otros autores, mencionan que la concentración de cobre a nivel intestinal se ve limitada por la concentración de molibdeno en la dieta y que esta se ve reflejada directamente en los niveles sanguíneos de cobre^{1, 2, 48, 50}. En este estudio no se evaluó la concentración de molibdeno en ningún tipo de muestra.

Selenio

Se determino la concentración promedio de selenio en suero de yeguas en lactación y el comportamiento de este durante la lactación se muestra en la Figura 16.

Figura 16. Concentración de selenio sérico en yeguas en lactación



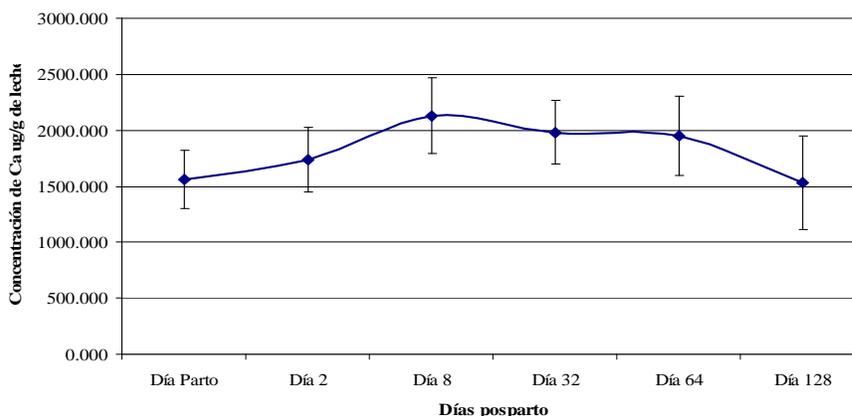
La concentración promedio de selenio en suero sanguíneo de yeguas en lactación en el día del parto fue de 170.973 ± 59.801 ug/ml de suero disminuyendo paulatinamente hasta el día 8 de la lactación con 129.476 ± 51.591 ng/ml de suero el cual fue el punto mas bajo en el comportamiento de este mineral. En el día 32 posparto aumenta la concentración a 174.427 ± 86.249 ng/ml de suero el cual es el punto más alto en la concentración y disminuye paulatinamente hasta el día 128 pos parto con 158.184 ± 43.564 . De conformidad con lo establecido por Crisman *et al.*, la concentración de selenio en suero de yeguas durante la lactación osciló en el intervalo de 27 a 266 ng/ml de suero, cuyas concentraciones dependen directamente del aporte dietario y por ende de la cantidad de selenio que se encuentra en los suelos donde se produce el forraje para la alimentación animal^{50, 51}.

VI.4. Minerales en Leche

Calcio

Se determinó la concentración promedio de calcio en leche de yeguas cuyo comportamiento a través del periodo de muestreo se observa en la Figura 17

Figura 17. Concentracion promedio de calcio en leche de yeguas



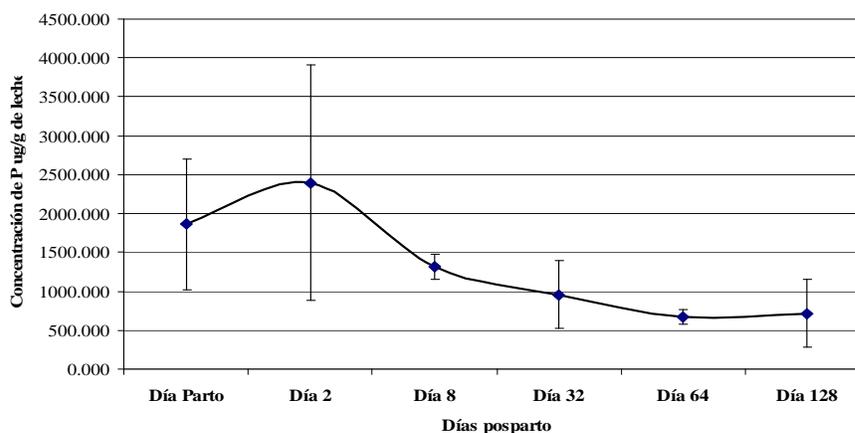
Haciendo el análisis de los datos obtenidos de la parte instrumental de este estudio, se obtuvo que la concentración promedio de calcio en calostro de yeguas en el día del parto fue de $1,560.056 \pm 255.864 \mu\text{g/g}$ de calostro. Esta concentración es 100% mas alta que la reportada por Csapó-Kiss *et al.*, $748 \pm 190 \mu\text{g/g}$ de calostro, pero es similar a la reportada por Schryver H. F., $1,345 \pm 66 \mu\text{g/g}$ de calostro^{14, 17}. Las concentraciones de los días de nuestro subsecuentes fueron superiores a las reportadas por cualquier otro autor (Pieszka, M. $913.85 \mu\text{g/g}$ de leche), (Anderson R. $787 \pm 41 \mu\text{g/g}$ de leche), por referir algunos^{5, 16}. Solo Schryver H. F determinó las concentraciones de minerales a través del tiempo pero con intervalo entre muestreos de 1 semana obteniendo resultados muy bajos comparados con los de este estudio¹⁷.

Los autores mencionados anteriormente refieren que la concentración de calcio esta influenciada directamente por la concentración de este en los ingredientes de la dieta, pero al haber deficiencias de calcio o exceso en la concentración de fósforo en la dieta, por la incorporación excesiva de granos de cereales o henos de gramíneas que son bajas en calcio y ricas en fósforo, el organismo activa la regulación sérica de calcio y fósforo tomando de las reservas óseas de calcio e incorporando este a la composición de la leche^{1, 2, 20, 50}.

Fósforo

El comportamiento de la concentración promedio de fósforo en leche de yeguas se muestra en la figura 18

Figura 18. Concentración promedio de fósforo en leche de yeguas

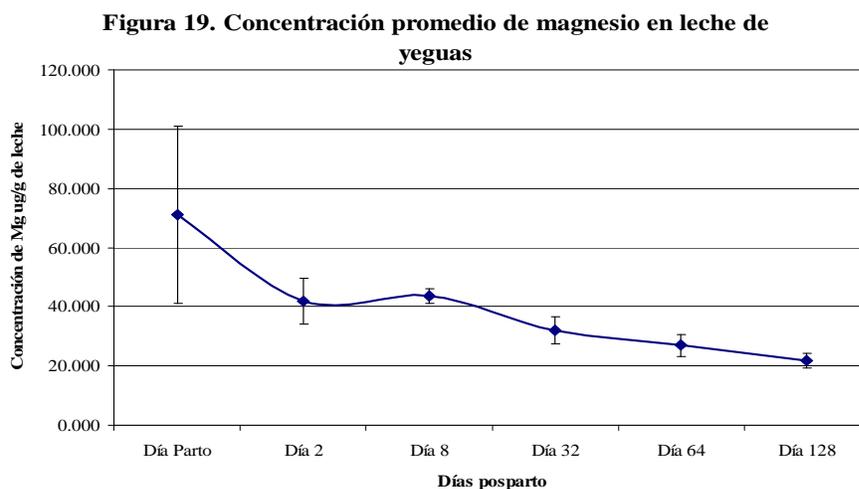


Se observa que la concentración promedio de fósforo el día del parto fue de $1,860.558 \pm 841.815 \mu\text{g/g}$ de calostro, esta concentración es mas alta con respecto a la reportada por Csapó-Kiss *et al.*, de $742 \pm 109 \mu\text{g/g}$ de calostro¹⁴. En el día 2 muestra un aumento en la concentración de $2,397.362 \pm 1512.430 \mu\text{g/g}$ de leche, el cual es el punto más alto en la concentración de fósforo en leche durante el periodo de muestreo; Smolders E reporta concentraciones de $1,340 \pm 180 \mu\text{g/g}$ de leche en el tercer día de la lactación que es similar a la concentración encontrada en este estudio¹⁵. Posteriormente, la concentración de fósforo disminuye paulatinamente hasta llegar el día 128 pos parto a $715.694 \pm 438.737 \mu\text{g/g}$ de leche. Summer *et al.*, reporta una concentración de fósforo a los 120 días de lactación de $408 \mu\text{g/g}$ de leche cuya concentración es inferior a la reportada en este estudio⁵². Se explica esta concentración debido a la gran cantidad de granos cereales y heno de gramíneas que se ofrecen en la dieta, que aportan una gran cantidad de fósforo y poco calcio, ya que la calidad de la leche tiene una correlación positiva con la cantidad de nutrientes en la dieta. Se puede notar que la curva de concentración de fósforo tiene un comportamiento opuesto al que tiene la concentración de

calcio, esto puede deberse a que estos son elementos que compiten por su absorción en el tubo digestivo, pero al haber exceso de fósforo este es compensado con la concentración sérica de calcio que a su vez es compensada con las reservas óseas de este mineral.

Magnesio

En la figura 19 se observa la concentración promedio de magnesio en leche de yeguas a diferentes momentos de la lactación.

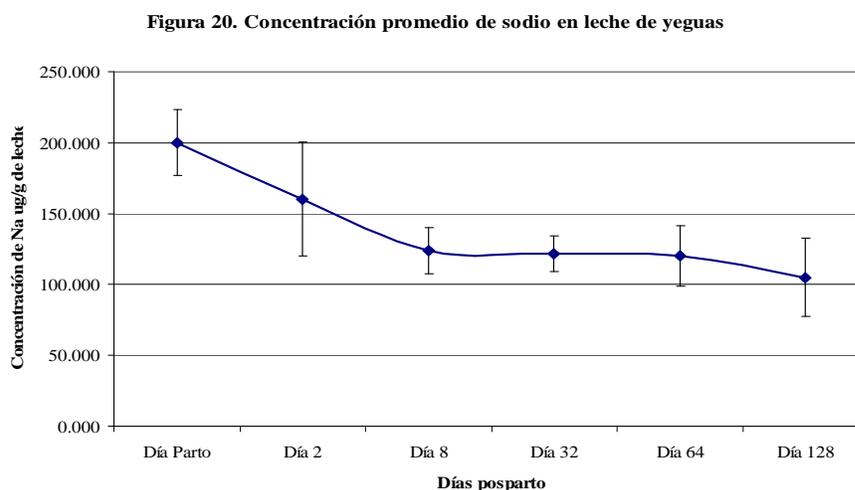


El día del parto el calostro tuvo una concentración promedio de magnesio de $71.049 \pm 29.791 \mu\text{g/g}$ de calostro. Csapó-Kiss *et al.*, encontraron una concentración de $140 \pm 81 \mu\text{g/g}$ de calostro, el doble de la concentración encontrada en este estudio¹⁴. Posteriormente la concentración de magnesio tiene una caída el día 2 posparto a $41.783 \pm 7.664 \mu\text{g/g}$ de leche, esto corresponde al cambio de calostro a leche, donde la leche tiene menor concentración de magnesio y depende de la concentración de este en la dieta⁵⁰. De conformidad con lo establecido por Csapó-Kiss *et al.*, la concentración de magnesio, a partir del día de cambio de calostro por leche, disminuye y durante la primera semana de la lactación¹⁴. A este respecto, se puede ver que en el día 8 posparto hay un ligero aumento en la concentración de magnesio en la leche $43.626 \pm 2.628 \mu\text{g/g}$ de leche que no es representativo para el comportamiento de la concentración a través del tiempo y tampoco corresponde con ninguno de los

autores que reportan concentraciones de magnesio a través de la lactación. Ullrey *et al.* y Martuzzi reportan concentraciones de 94 ± 6 y $84 \mu\text{g/g}$ de leche, respectivamente, que son muy superiores a las encontradas en este estudio^{53,54}. Finalmente, la concentración promedio de magnesio en este estudio disminuyó paulatinamente hasta el día 128 pos parto donde la concentración fue de $21.694 \pm 2.417 \mu\text{g/g}$ de leche, que fue muy inferior a la reportada por Ullrey *et al.*, en el día 120 de la lactación $43 \pm 2 \mu\text{g/g}$ de leche⁵³.

Sodio

En la Figura 20 se muestra la concentración promedio de sodio en leche de yeguas en diferentes momentos de la lactación.



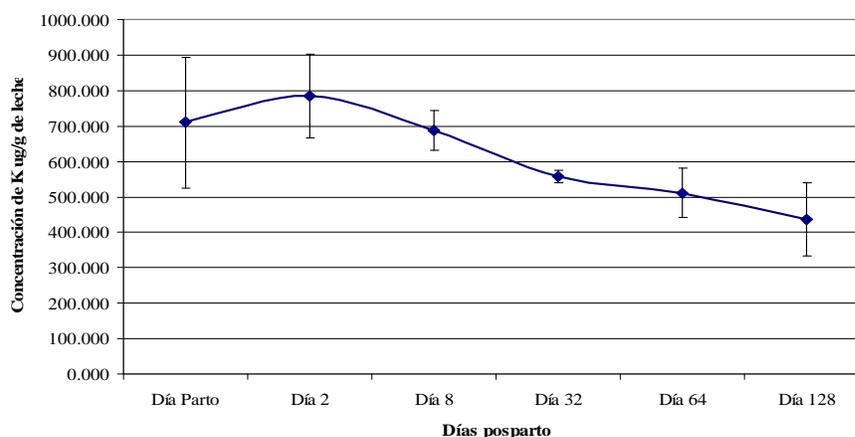
Se determinó la concentración promedio de sodio en leche de yegua y se puede observar que el día del parto tiene el calostro una concentración de $200.155 \pm 23.059 \mu\text{g/g}$ de calostro, que es inferior a la establecida por Csapó-Kiss *et al.*, de $320 \pm 86 \mu\text{g/g}$ de calostro y a la establecida por Ullrey *et al.*, de $364 \pm 11 \mu\text{g/g}$ de calostro, esto puede deberse a factores asociados al medio ambiente, por ejemplo, aumento de la temperatura ambiental, excesiva transpiración a la hora del parto, aumento en el consumo de agua previo al parto o pérdida de este elemento en el líquido amniótico en el momento del parto^{14, 50, 53}.

La concentración de sodio en leche tiene una tendencia a la baja durante el periodo de muestreo. A partir del día 2 al día 8 de lactación la concentración cae de 160.124 ± 40.245 $\mu\text{g/g}$ de leche a 124.073 ± 16.275 $\mu\text{g/g}$ de leche. A partir del día 32 y hasta el día 64 posparto, la concentración se mantiene hasta que el día 128 finalmente disminuye a 105.086 ± 27.819 $\mu\text{g/g}$ de leche.

Potasio

En la Figura 21 se muestra la concentración promedio de potasio en leche de yeguas en algunos momentos de la lactación.

Figura 21. Concentración promedio de potasio en leche de yeguas



La concentración promedio de potasio en calostro en el día del parto fue de 710.196 ± 183.857 $\mu\text{g/g}$ de calostro que fue inferior a la reportada por Ullrey *et al.*, a las 12 hrs posparto que fue de 965 ± 46 $\mu\text{g/g}$ de calostro⁵³. La concentración promedio de potasio en el día 2 posparto fue de 784.320 ± 117.285 $\mu\text{g/g}$ de leche que continua siendo baja de conformidad con lo establecido por Csapó-Kiss *et al.*¹⁴.

Schryver *et al.*, reportan concentraciones de potasio para el caballo doméstico y otras especies de équidos donde la concentración fue de 410 ± 76 $\mu\text{g/g}$ de leche y Martuzzi *et al.*, reportan una concentración de 607.7 $\mu\text{g/g}$ de leche^{13, 54}. Estos dos autores dan pauta para decir que las

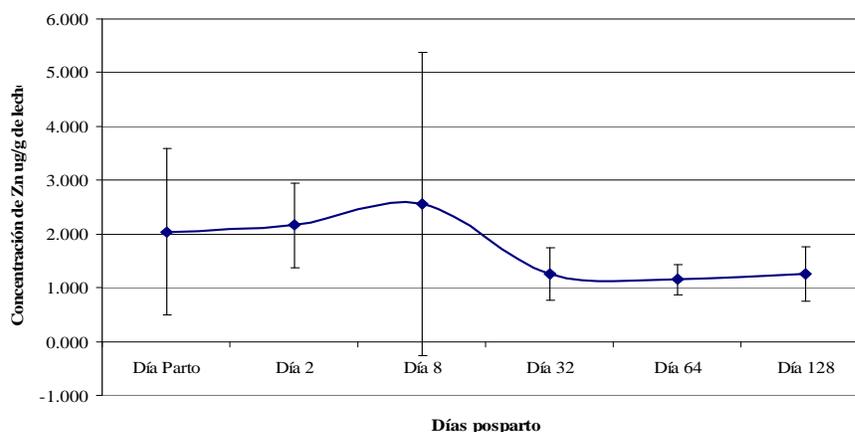
concentraciones de potasio durante la lactación tienen una variabilidad importante que depende de factores dietéticos, medioambientales y de manejo.

Las concentraciones promedio de potasio en los días de muestreo 8, 32, 64 y 128 de este estudio fueron de 687.866 ± 55.473 , 557.322 ± 17.471 , 511.606 ± 68.631 , 436.425 ± 102.853 $\mu\text{g/g}$ de leche, respectivamente.

Zinc

La concentración promedio de zinc en leche de yeguas a diferentes momentos del periodo de la lactación se muestra en la Figura 22.

Figura 22. Concentración promedio de zinc en leche de yeguas



Se determinó la concentración de zinc en leche de yeguas en diferentes momentos del periodo de lactación donde se encontró que la concentración inicial, al día del parto, fue de 2.042 ± 1.542 $\mu\text{g/g}$ de calostro. Esta concentración es muy parecida a lo reportado por Csapó-Kiss *et al.* 2.95 ± 1.36 $\mu\text{g/g}$ de calostro¹⁴. Las concentraciones promedio de los días de muestreo 2, 8, 32, 64 y 128 fueron 2.162 ± 0.792 , 2.557 ± 2.814 , 1.260 ± 0.483 , 1.153 ± 0.280 , 1.253 ± 0.499 $\mu\text{g/g}$ de leche, respectivamente.

En este estudio se observa que la concentración de zinc en leche muestra un aumento a partir de la etapa calostrada y hasta el día 8 de la lactación, contrario a lo que establecen

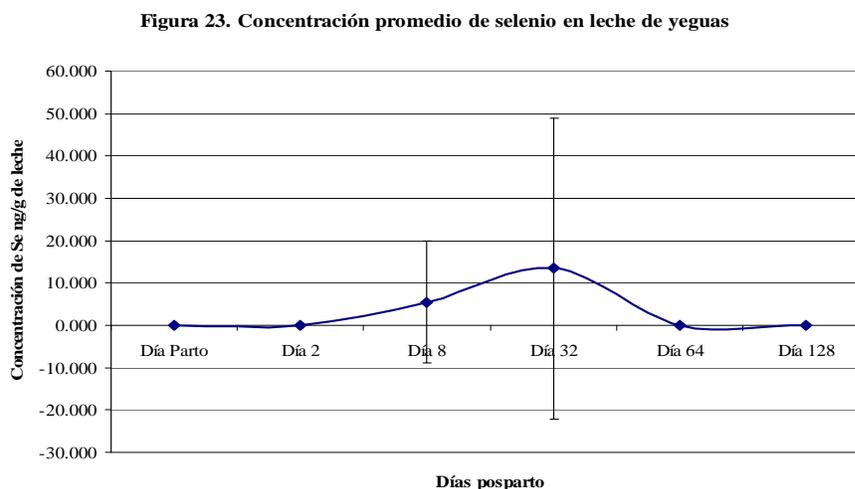
Csapó-Kiss *et al.* y Schryver que reportan la disminución en la concentración a partir del periodo de calostro a leche^{14, 17}. A partir del día 8 posparto hay una disminución en la concentración hasta el día 32 posparto donde fue de $1.260 \pm 0.483 \mu\text{g/g}$ de leche. Posteriormente, la concentración promedio baja y se mantiene de manera uniforme hasta el día 128 posparto.

Cobre

Realizadas las determinaciones instrumentales y analíticas de las muestras, se obtuvieron concentraciones por debajo del límite de detección del equipo de cobre en leche de yeguas de este estudio. Las razones por las cuales las concentraciones se encuentran en rangos indetectables pueden tener dos vertientes: 1) Los ingredientes de la dieta aportan una cantidad insuficiente de cobre para el requerimiento de este mineral para esta etapa fisiológica que es altamente demandante de nutrientes y al no recibir estas concentraciones, el organismo de la yegua utiliza el cobre dietario para las funciones vitales propias y disminuye la concentración de cobre en la leche; 2) El intervalo de detección de microelementos en concentraciones, resulta estrecho cuando las concentraciones en las muestras están en el rango de traza, esto quiere decir, que están por debajo de los niveles detectables del elemento en cuestión, por tanto, al hacer los ajustes necesarios en el equipo de espectrofotometría de absorción atómica, aun estos niveles tan bajos no están en el espectro de los elementos detectables dando respuestas inferiores a las esperadas o encontradas en las referencias bibliográficas. Estos factores pueden afectar, no solo a este elemento, si no a todos aquellos, que por su concentración en los ingredientes y matrices inorgánicas, sean catalogados como traza y puedan dificultar la detección de estos.

Selenio

En la Figura 23 se muestra la concentración promedio de selenio en leche de yeguas en algunos momentos de lactación.



Se observa que la concentración de selenio en leche de yeguas se encuentra en niveles traza, casi indetectables hasta el día 8 posparto donde tiene un aumento a 5.516 ± 14.484 ng/g de leche y para el día 32 de lactación, aumenta a 13.467 ± 35.519 ng/g de leche. Este incremento en la concentración de selenio en leche corresponde al momento del pico de la lactación, tal como lo establece Santos *et al.*, pero de conformidad con lo establecido por Kavazis *et al.*, la suplementación con premezclas de micro-elementos no tiene ningún efecto sobre la calidad, ni sobre la concentración de elementos traza en la leche^{14, 55}. Mannan *et al.*, reportaron que la concentración de selenio en leche de mujeres es de 15.6 ± 0.4 ng/g de leche, donde esta concentración está influenciada directamente por la nutrición materna⁵⁶. Esta diferencia puede estar dada por la diferencia en la tasa de absorción y la porción del tubo digestivo en que este mineral es absorbido a partir de la concentración dietaria, tanto en humanos como en équidos⁵⁰.

VI.5. Análisis del comportamiento de los minerales a través de la lactación

La concentración de cada mineral en el pelo varía a lo largo del tiempo dependiendo del peso de cada yegua, ya que entre mas pesado es el animal, mayor es su requerimiento mineral, de conformidad con lo establecido por el NRC 2006²⁰. Las variaciones no fueron significativas a excepción de algunos minerales, que se mencionan a continuación como ejemplo de las interacciones que resultaron con una variabilidad estadísticamente significativa.

El calcio en el pelo de las yeguas, cuya interacción con el peso a través del tiempo, presentó variabilidad significativa ($P < 0.05$), tal como se muestra en el cuadro 1 del Anexo II.

Este comportamiento en la cantidad de calcio en pelo, puede justificarse debido a que este mineral es homeostáticamente regulado a nivel plasmático, aun bajo amplios intervalos de concentración de calcio dietario y aunque el folículo piloso está en contacto íntimo con el torrente circulatorio, la tasa de deposición de calcio en pelo, en si misma baja, a través de los folículos pilosos, disminuyó como resultado del incremento de los requerimientos de calcio por parte de la yegua, de modo que se puede decir que el calcio en pelo no funge como un indicador de este mineral en el organismo como menciona Combs *et al.* y Combs^{31, 32}

De la misma manera, fue significativa la cantidad de Magnesio sérico, pero esta vez a través del tiempo con la interacción del peso de los animales tal como se muestra en el cuadro 2 del Anexo II.

Esta interacción se puede explicar con lo establecido por Petersen, donde postula que la leche, en su concentración molar, tiene 4 veces mas magnesio que la sangre, esto como resultado de la movilización de este elemento a través del epitelio mamario que está en íntimo contacto con el torrente circulatorio e incorpora los elementos necesarios para

mantener la calidad necesaria de la leche³³. Con respecto a la interacción que mostró el análisis estadístico, existe una correlación positiva, cuya variabilidad fue significativa ($P < 0.05$), donde la concentración de magnesio en sangre está en función del peso del animal y por consecuencia la producción láctea, de modo que al aumentar el peso del animal, el requerimiento de este mineral aumenta, según lo establecido por el NRC 2006²⁰. El análisis estadístico mostró que la interacción de la concentración de sodio en sangre y el peso promedio de la yegua a través del tiempo tiene una variabilidad estadísticamente significativa ($P < 0.05$). Esto puede explicarse debido a que el sodio es el principal elemento para la regulación osmótica de los fluidos dentro del organismo, tal como lo menciona McDowell, Underwood y Shennan^{1, 2, 34}. De la misma manera, la concentración de sodio a nivel sanguíneo se ve afectada por factores como la dieta, la producción de leche, la ingesta de agua y el medio ambiente, el ejercicio, etc., de modo que a través de la etapa de la gestación y en conjunción con los factores, mencionados anteriormente, la concentración de sodio en sangre se ve afectada, además que entre mas pesada es la yegua el requerimiento mineral es mayor, de conformidad con lo postulado por el NRC 2006²⁰.

Estos datos donde se revela la variabilidad estadística de la concentración de sodio en sangre con relación al peso y a través del tiempo, se muestran en el cuadro 3 del Anexo II.

Otro de los elementos que mostró variabilidad estadística significativa ($P < 0.05$) fue la concentración de fósforo en pelo en su interacción con el peso del animal. Esto puede explicarse debido a que el fósforo es un elemento que se comporta de manera similar al calcio y aunque existe cierta deposición de este elemento del torrente sanguíneo hacia el folículo piloso, la demanda de fósforo para el mantenimiento de la homeostasis y de la producción de leche hace que esta deposición sea mínima, adicionalmente que el requerimiento de este mineral está en función del peso de la yegua según lo establecido por

el NRC 2006²⁰. Por este hecho y de conformidad con lo establecido por Combs *et al.* y Combs la concentración de fósforo en pelo no es un indicador del estado general de este elemento en el organismo animal debido a los mecanismos que lo regulan^{31, 32}. Los datos que arrojó el análisis estadístico se muestran en el cuadro 4 del Anexo II.

También se observa que la concentración de fósforo en sangre tiene una variabilidad estadísticamente significativa ($P < 0.05$), cuyos datos se observan en el cuadro 6 del Anexo II. En los datos referidos, vemos que la interacción de la concentración de fósforo sérico con el peso del animal se relaciona con la etapa fisiológica, ya que en esta los requerimientos aumentan considerablemente, de modo que si el aporte de fósforo dietario no satisface los requerimientos, se pondrán en marcha los mecanismos reguladores del animal para compensar estas deficiencias tal como lo establecen McDowell y Underwood^{1, 2}.

En el análisis de los datos, se encontró que la concentración de selenio en leche fue estadísticamente significativa ($P < 0.05$) en relación con el peso del animal, estos datos se muestran en el cuadro 5 del Anexo II.

El selenio es un mineral sumamente importante debido a sus funciones, y es importante también que el potro recién nacido lo obtenga y la forma en que este es ingerido es a través de la leche. Se observa que la concentración de selenio en la leche no es dependiente de la concentración de selenio en sangre de la yegua. En un estudio hecho en humanos por Mannan S. y Picciano M.F, menciona que la concentración de selenio en leche humana depende del consumo de este mineral en la dieta³⁵. En caballos no existen reportes al respecto, pero ahora se sabe que la concentración de selenio en leche de yegua es muy baja y que la cantidad de selenio que la dieta aporta cumple solo la función metabólica para la

cual es destinado y se secreta en bajas concentraciones en la leche, por lo tanto se desconocen los mecanismos por los cuales el selenio está presente en la leche.

VI.6. Análisis del comportamiento de los minerales en cada tiempo de muestreo

Debido a que en al menos, en leche, sangre o pelo, se detectó una interacción entre el tiempo con el peso de los animales, estadísticamente significativa ($P < 0.05$), se decidió evaluar en cada tiempo de muestreo y para cada mineral, si es posible explicar la concentración de cada mineral en leche por medio de la concentración de estos en pelo y sangre de las yeguas utilizando como covariable el peso de los animales, mediante un análisis de regresión lineal. De esta evaluación se obtuvieron los resultados siguientes:

TIEMPO 1 DE MUESTREO (DÍA 0 O DÍA DEL PARTO)

El análisis de regresión lineal mostró que la concentración de calcio sérico en el tiempo 1 fue estadísticamente significativa ($P < 0.05$) para el contenido de calcio en leche, estos datos se muestran en el cuadro 1 del Anexo III.

Manteniendo, en el tiempo 1 de muestreo, el valor fijo de calcio en pelo de yegua y con un peso corporal constante, se puede decir que por el aumento de $1 \mu\text{g/ml}$ en la concentración de calcio sérico, la concentración de calcio en leche aumenta en promedio $2.32 \mu\text{g/g}$ de leche. Este estimador se muestra en el cuadro 1A del Anexo III.

En este se evidenció la movilización de calcio sérico para satisfacer los requerimientos de este mineral en calostro. De conformidad con lo establecido por Csapó-Kiss *et al.*, y Doreau *et al.*, reportan que la concentración de calcio en calostro es muy alta, la cual disminuye conforme pasa el periodo de lactación^{14, 36}. Se sabe que la concentración sérica de calcio es regulada por mecanismos hormonales bien definidos, pero es necesario el aporte de calcio dietario para que no exista un desbalance de este mineral y se activen estos mecanismos. Siendo el inicio de la lactación una de las etapas más demandantes de este mineral, el organismo inicia una movilización de calcio para el aporte de la cantidad

necesaria, para el calostro en el primer día y posteriormente para la leche, ya sea del aporte dietario o de la reserva ósea de este mineral.

TIEMPO 2 DE MUESTREO (DÍA 2 POSPARTO)

En el tiempo 2 de muestreo, el análisis de regresión lineal mostró que la concentración de calcio en leche depende del peso de los animales ($P < 0.05$), esto debido a que los requerimientos de este mineral aumentan en toda la primera semana posparto. Los animales del estudio, están destinados a la reproducción por lo que se encuentran gestantes año con año, por lo que están en constante estrés fisiológico, donde el equilibrio de calcio depende del aporte dietario y al haber un aporte deficiente de este mineral en la dieta o la interferencia de otros compuestos dietarios los cuales actúan en la concentración de calcio, se activa el mecanismo por el cual se hacen disponibles las reservas óseas de calcio. La movilización de estas fracciones óseas a espacios extraóseos, requiere de un gasto de energía, la cual es provista por el catabolismo energético dando resultado pérdida de peso de las yeguas en la etapa de lactancia. Adicionalmente, el calcio de las reservas óseas es necesario para la regulación de los niveles séricos y la producción láctea, esto de conformidad con lo establecido por el NRC 2006²⁰.

Los datos se muestran en el cuadro 2 y 2A del Anexo III.

TIEMPO 3 DE MUESTREO (DÍA 8 POSPARTO)

Durante el análisis de regresión lineal, se observó que la concentración de calcio en pelo y el peso de los animales fueron estadísticamente significativos ($P < 0.05$) los cuales pueden explicar la concentración de calcio en leche. Estos datos se muestran en el cuadro 3 del Anexo III.

El análisis de los estimadores en la regresión lineal evidenció que conservando la concentración de calcio sérico y el peso constantes, y que al aumentar la concentración de calcio en pelo 1 μg de pelo, la concentración de calcio leche aumenta 1.2277 $\mu\text{g/g}$ de leche. Esto se puede observar en el cuadro 3A del Anexo III.

La concentración de calcio, como de otros nutrientes, en la leche está definida por la capacidad innata de la yegua, el consumo de nutrientes y el consumo de agua, esto de conformidad con lo establecido por Frapé⁷. Estos son factores fundamentales para que la calidad de esta sea la adecuada para el potro, pero al existir deficiencias, estas deberán ser subsanadas por las reservas del organismo. Este momento de la lactación es muy importante debido a que la yegua está a punto de entrar en el pico de la lactación, donde la demanda de nutrientes es mucho más marcada que en cualquier otro momento de la lactación^{4, 7, 8}. En virtud con lo establecido por Combs *et al.* y Combs, la concentración de calcio en pelo no es un indicador fiel del estado de este mineral en el organismo, pero de conformidad con lo expuesto por Dunnet, donde menciona las etapas de crecimiento del pelo, en la que la etapa *anagen* es en la cual los nutrientes son incorporados a la matriz folicular que da origen al nuevo pelo, esto es dependiente de la cantidad de nutrientes disponibles en el torrente sanguíneo, el calcio no es la excepción, el cual está comprometido, en la etapa de la lactación, para satisfacer la concentración de este en la leche y para conservar la homeostásis general cuando la concentración dietaria de calcio no es la adecuada^{31, 32, 37}. En este caso, la deposición de calcio en etapa de *anagen* disminuye debido a que este mineral es necesario para mantener la calidad de la leche. Con respecto al peso de la yegua, entre mayor sea el peso de esta, los requerimientos se ven aumentados, por lo que al suministrar una dieta baja en este mineral NRC 2006, los mecanismos que regulan la concentración sérica de calcio, se activan y comienza el proceso osteolítico, cuyo

fin es mantener la concentración de calcio adecuada para satisfacer las demandas fisiológicas de la etapa, donde este mineral es fundamental en la leche²⁰.

La concentración de magnesio en la leche de la yegua puede ser explicada con el peso de las yeguas, esto fue estadísticamente significativo ($P < 0.05$) y los datos se muestran en el cuadro 4 del Anexo III.

La regresión lineal mostró que al mantener la concentración de magnesio sérico y la concentración de magnesio en pelo constantes, y al aumentar 1 kg de peso corporal, disminuye la concentración de magnesio en leche 0.054 $\mu\text{g/g}$ de leche. Eso se muestra en el cuadro 4A del Anexo III

Todos los macroelementos, excepto el calcio, disminuyen a partir de la etapa calostrál y en el comienzo de la lactación, esta disminución es más marcada para magnesio Csapó-Kiss *et al.*¹⁴. Existe una correlación negativa entre la concentración de magnesio en leche en función del peso del animal y por consecuencia la producción láctea, de modo que al aumentar el peso del animal, el requerimiento de este mineral aumenta, según lo establecido por el NRC 2006²⁰.

TIEMPO 4 DE MUESTREO (DÍA 32 POSPARTO)

La concentración de magnesio en pelo fue estadísticamente significativa ($P < 0.05$) al explicar la concentración de magnesio en leche. Estos datos se encuentran en el cuadro 5 del Anexo III

Manteniendo la concentración de magnesio sérico y el peso constantes y si la concentración de magnesio en pelo aumenta $1 \mu\text{g/g}$ de pelo, la concentración de magnesio de la leche aumenta $0.078 \mu\text{g/g}$ de leche. Estos datos se pueden observar en el cuadro 5A del Anexo III.

Se sabe que la concentración de los elementos minerales en la leche va disminuyendo conforme pasa el tiempo de lactación, esta disminución es más notoria en magnesio Csapó-Kiss *et al.* ¹⁴. También es sabido que la concentración de magnesio en el organismo depende del aporte dietario de este, aunque se tienen reservas óseas importantes que son movilizadas en caso de ser necesario ^{1, 2, 50}. Durante la corta etapa de mantenimiento de las yeguas o en el año que no quedan gestantes, estas pueden reservar o recuperar el magnesio que han perdido de las gestaciones y lactaciones anteriores, esta concentración de minerales puede deponerse en pelo como un mecanismo de registro nutricional. De modo que, si la concentración de magnesio en pelo ha aumentado y las concentraciones de magnesio sérico están en los niveles óptimos, el aumento en la concentración de magnesio en leche se ve reflejado de forma inmediata. Debido a la dinámica de este mineral, tanto en pelo como en sangre, se convierten en una herramienta diagnóstica importante que da un panorama del estado general de magnesio en el organismo, tal como establecen Combs *et al.* y Combs ^{31,}

³².

TIEMPO 5 DE MUESTREO (DÍA 64 POSPARTO).

En el análisis de regresión lineal se muestra que es posible explicar la concentración de sodio en leche con la concentración de sodio en pelo y en sangre, las cuales fueron estadísticamente significativas ($P < 0.05$) y cuyos valores se muestran en el cuadro 6 del Anexo III.

La concentración de sodio en leche disminuye $0.04 \mu\text{g/g}$ de leche cuando la concentración de este mineral en pelo aumenta $1 \mu\text{g/g}$ de pelo y cuando la concentración sérica de sodio aumenta $1 \mu\text{g/ml}$, la concentración de sodio en leche aumenta $0.11 \mu\text{g/g}$ de leche. Estos datos se muestran en el cuadro 6A del Anexo III.

El folículo piloso es un órgano funcional en toda la extensión de la palabra, tiene glándulas sebáceas, glándulas sudoríparas, un sistema linfático y un pequeño paquete vascular y cada uno cuenta con un músculo piloerector, todo esto con el fin de generar un pelo el cual está constituido, principalmente de proteínas, tales como la queratina. La queratina es una proteína cuya estructura está dada, en su mayoría, por aminoácidos azufrados, donde se unen la mayoría de los minerales, pero en el paquete vascular van transportados todos los nutrientes y estos son vertidos en el folículo piloso para el crecimiento del pelo. La glándula sudorípara es la encargada de generar el sudor para las diferentes funciones que este tiene y es ahí donde la concentración sérica de sodio está relacionada con el folículo³⁷.

El sodio ayuda a proporcionar la presión osmótica en los fluidos del organismo, en la glándula mamaria no es la excepción, la cual es capaz de mantener y generar grandes gradientes entre la leche y el plasma, de modo que la concentración de sodio en leche está en relación a la concentración en plasma. Esta concentración depende de los niveles dietarios de este mineral, de la temperatura medioambiental y del consumo de agua, entre otras. Al tener una concentración deficiente de minerales en la dieta el animal realiza grandes esfuerzos por compensar estas deficiencias, esto puede ser disminuyendo la

cantidad de sudor o la disminución en la deposición en pelo, lo que aumenta la concentración sérica la que se deposita en glándula mamaria, tal como establece Shennan *et al.*, y así satisfacer la calidad de la leche³⁴.

TIEMPO 6 DE MUESTREO (DÍA 128 POSPARTO).

La concentración de magnesio en la leche de la yegua puede ser explicada con el peso de las yeguas, esto fue estadísticamente significativo ($P < 0.05$) y los datos se muestran en el cuadro 7 del Anexo III.

La regresión lineal mostró que al mantener la concentración de magnesio sérico y la concentración de magnesio en pelo constantes, y al aumentar 1 kg de peso corporal, disminuye la concentración de magnesio en leche 0.054 $\mu\text{g/g}$ de leche. Eso se muestra en el cuadro 7A del Anexo III.

La disminución en la concentración de magnesio en la leche de la yegua, en este momento de la lactación, es mas marcada, en virtud de que está en descenso la producción y de conformidad con lo mencionado por Frapé, la concentración de nutrientes en la leche en general disminuye, esto también lo establece Csapó-Kiss *et al.*^{7, 14}. Existe una correlación negativa entre la concentración de magnesio en leche en función del peso del animal y ahora con el efecto de la disminución de la producción láctea. En consecuencia, existe una ligera recuperación de peso al disminuir la producción de leche, por lo que la concentración de magnesio destinada a la producción de leche regresa a un nivel similar al de mantenimiento, esto de conformidad con lo establecido por el NRC 2006²⁰.

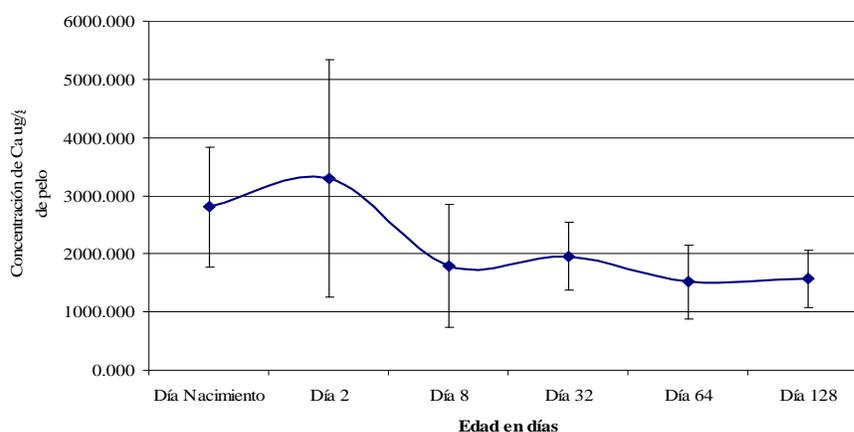
VI.7. Concentración de minerales en pelo de potro

Después de realizar el análisis instrumental y habiendo analizado los datos obtenidos de este, se muestran las concentraciones promedio de los minerales abordados en este estudio en los cuadros siguientes.

Calcio

Se determinó la concentración promedio de calcio en potros en diferentes puntos de la lactación de sus madres cuyos resultados se muestran en la figura 24.

Figura 24. Concentración promedio de calcio en pelo de potros

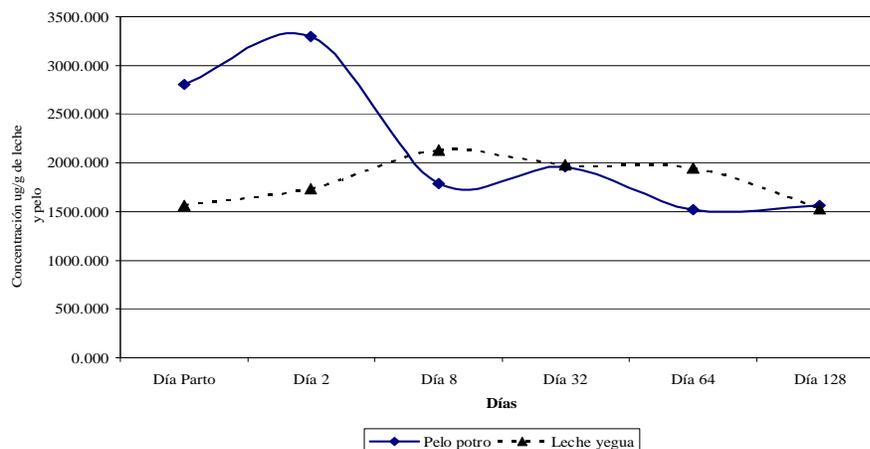


Se observa la concentración promedio de calcio en pelo de los potros el día del nacimiento con $2,808.834 \pm 1,029.850 \mu\text{g/g}$ de pelo. Esta concentración puede explicarse debido a la deposición de este mineral *in útero*, que está en una razón de 11.1, 25.3 y 11.4 mg de Ca/kg de peso corporal materno diario, en los meses 9, 10 y 11 de la gestación²⁰. No se tienen datos de cuanto calcio es depositado en pelo en la etapa fetal, sin embargo, Cape y Hintz (1982)(43) evalúan la concentración de diferentes minerales en dos grupos de caballos, uno con tratamiento y otro control, donde las concentraciones promedio de calcio en el grupo control fueron de $1,110 \pm 337 \mu\text{g/g}$ de pelo que son considerablemente más bajas que las encontradas en este estudio.

Las concentraciones promedio de calcio en pelo de los potros de los días subsecuentes 2, 8, 32, 64 y 128 de edad fueron de $3,292.902 \pm 2,045.546$, $1,786.440 \pm 1,055.212$, $1,958.386 \pm 586.993$, $1,520.113 \pm 636.674$ y $1,567.299 \pm 494.640$ $\mu\text{g/g}$ de pelo, respectivamente. Las concentraciones a partir del día 8 de edad disminuyen considerablemente y se acercan mas a las reportadas por Cape y Hintz⁴³. De conformidad con lo establecido por Combs et al. y Combs la concentración de calcio en pelo no es un indicador confiable del estado de este mineral en el organismo^{31, 32}. Esta concentración es dependiente de la deposición que se hace a través de la matriz folicular, que está en intimo contacto con el torrente sanguíneo, por lo que una disminución en la concentración de calcio en la leche de la yegua, como aporte dietario para el potro, disminuye la concentración plasmática de este y en consecuencia la deposición de calcio en pelo del potro.

En la figura 24a se muestra el comportamiento de la curva de concentraciones promedio de calcio en pelo de los potros con respecto a la curva de concentraciones promedio de calcio en leche de yegua, la cual no fue estadísticamente significativa, ni en el comportamiento a través del tiempo, ni en cada tiempo de muestreo.

Figura 24a. Concentraciones promedio de calcio en pelo de potro y de leche de yegua

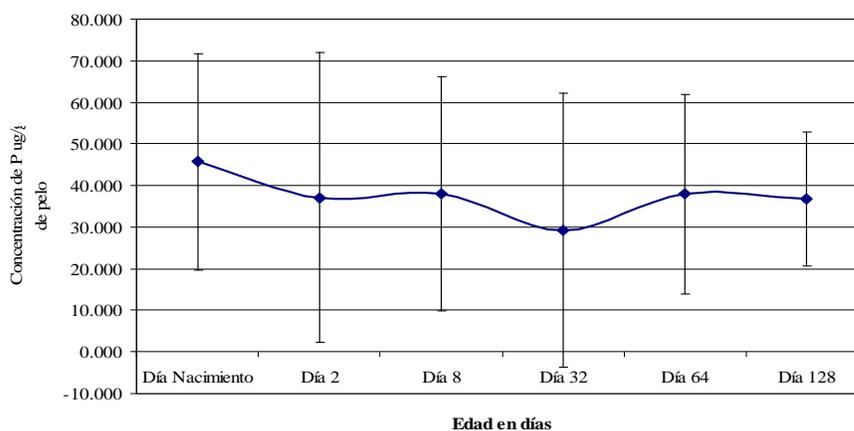


En el día del parto, las concentraciones tienen una tendencia similar de aumento hasta el día 2 posparto donde la concentración de calcio en pelo del potro disminuye hasta por debajo de la concentración de la leche en el día 8, donde esta, aumenta y tiene su concentración más alta en la curva de lactación. En el día 32 ambas concentraciones coinciden cercanamente y tienden a bajar para los días subsecuentes hasta el día 128 posparto donde vuelven a coincidir después de la disminución paulatina de calcio de acuerdo a las tendencias mostradas.

Fósforo

En la figura 25 se muestran el comportamiento de la concentración promedio de fósforo en pelo de potros en diferentes momentos de la lactación de sus madres.

Figura 25. Concentración promedio de fósforo en pelo de potros



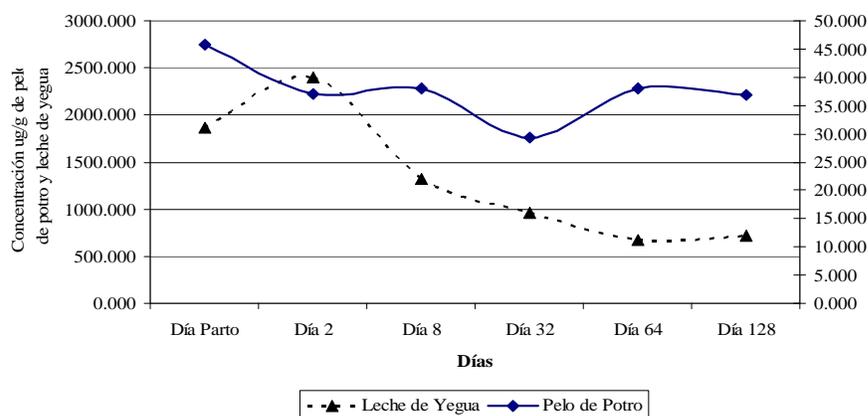
La concentración promedio de fósforo en pelo de los potros en el día de nacimiento fue de $45.690 \pm 25.996 \mu\text{g/g}$ de pelo, esta fue la concentración más alta de fósforo en pelo de los potros durante el periodo de muestreo. Las concentraciones promedio de los días 2 y 8 se mantuvieron en niveles muy parecidos entre si, cuyos valores fueron de 37.108 ± 34.791 y $38.066 \pm 28.167 \mu\text{g/g}$ de pelo, respectivamente. Esta concentración promedio está por debajo de la concentración reportada por Cape y Hintz de $192.72 \mu\text{g/g}$ de pelo⁴³. Se observa también, que la concentración promedio al día 32 de edad disminuye a $29.255 \pm$

32.980 $\mu\text{g/g}$ de pelo donde es el punto mas bajo en la concentración. En los muestreos posteriores, días 64 y 128 posparto, las concentraciones fueron 37.953 ± 24.013 y 36.810 ± 16.014 $\mu\text{g/g}$ de pelo que aun fueron bajas de conformidad con lo establecido por Cape y Hintz ⁴³. Asano *et al.*, reportaron una concentración de fósforo promedio de 293.953 ± 81.020 $\mu\text{g/g}$ de pelo que es igualmente alta en relación a la encontrada por este estudio⁴².

El análisis estadístico arrojó que la concentración promedio de fósforo en pelo de los potros no es estadísticamente significativa ($P > 0.05$) con respecto a la concentración de fósforo en leche de sus madres en el comportamiento a través del tiempo, ni en el análisis de regresión en los cortes en cada tiempo de muestreo.

La figura 25a muestra la curva de comportamiento de la concentración promedio de fósforo en pelo de potro (valores a la derecha) con respecto a la concentración promedio de fósforo en leche de sus madres (valores a la izquierda) donde se muestra la correlación existente al día 8 de la lactación.

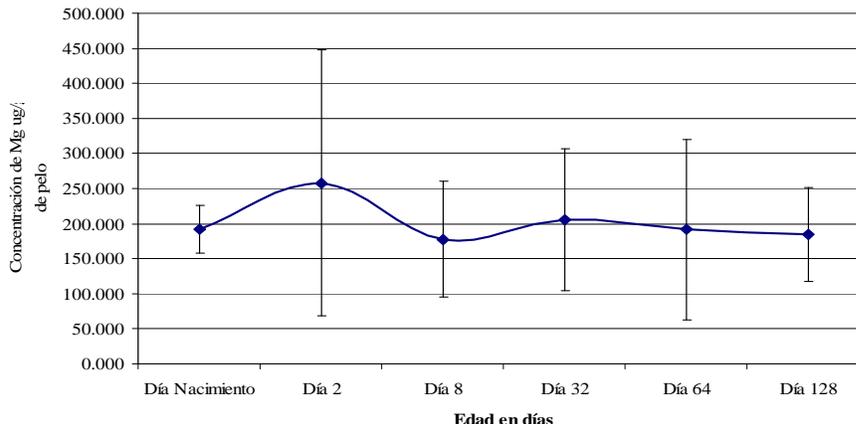
Figura 25a. Concentración promedio de fósforo en pelo de potros y leche de yegua



Magnesio

Se determinó la concentración promedio de magnesio en pelo de los potros durante un periodo de la lactación de sus madres. En la figura 26 se muestra la curva de comportamiento de magnesio.

Figura 26. Concentración promedio de magnesio en pelo de potros

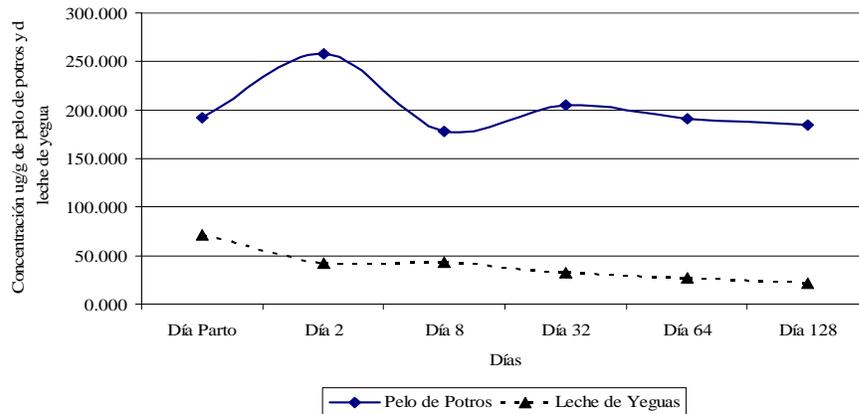


Se observa que la concentración promedio de magnesio en el día de su nacimiento es de 192.516 ± 34.272 . El análisis estadístico de regresión lineal mostró que la concentración promedio de magnesio en pelo de los potros, tanto en su comportamiento a través del tiempo, como en el análisis de regresión lineal para los cortes en cada tiempo de muestreo no fue estadísticamente significativa ($P > 0.05$) con respecto a la concentración promedio de magnesio en calostro y leche de sus madres.

La concentración promedio de magnesio en los días subsiguientes de muestreo 2, 8, 32, 64 y 128 posparto fueron de 257.552 ± 189.770 , 177.589 ± 82.403 , 205.043 ± 101.055 , 191.270 ± 128.274 y 184.708 ± 67.481 µg/g de pelo, respectivamente, donde el día 2 posparto fue el momento de mayor concentración de magnesio en pelo de los potros, esto se puede explicar debido a la alta concentración de magnesio que tiene el calostro, de conformidad con lo establecido por Csapó-Kiss *et al.*, y cuya concentración se ve disminuida drásticamente en la primera semana posparto en la que el único alimento del potro es la leche de la madre y a través de esta, el potro obtiene las concentraciones minerales adecuadas para sus funciones vitales, entre las que están, el depósito de magnesio en pelo Combs *et al.* y Combs^{14,31,32}.

En la figura 26a se muestra el comportamiento de la curva de concentración de magnesio en pelo de potros con respecto a la concentración promedio de magnesio en leche de sus madres.

Figura 26a. Concentración promedio de Magnesio en pelo de potros y leche de yeguas

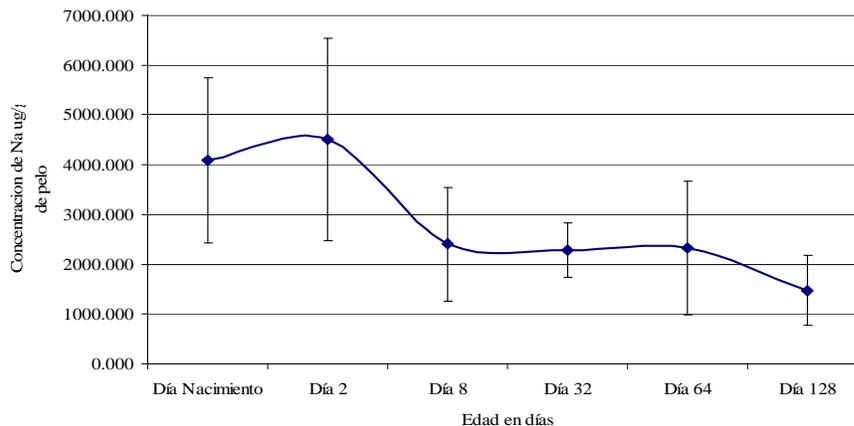


La figura muestra que el momento del parto la concentración promedio de magnesio en pelo de los potros aumenta, de la misma manera que disminuye la concentración promedio de magnesio en calostro y posteriormente leche en el día 2 posparto. A pesar de que existe una disminución marcada a partir del día 2 posparto y hasta el día 8 posparto en la concentración de magnesio en pelo de potros, para el día 32 posparto las dos concentraciones, pelo de potros y leche de yeguas, tienen una tendencia muy similar.

Sodio

En la figura 27 se observa la curva de comportamiento a la concentración promedio de sodio en pelo de los potros durante un periodo de lactación de sus madres.

Figura 27. Concentración promedio de sodio en pelo de potros



Se muestra que la concentración promedio de sodio en pelo de potros al día del nacimiento la cual fue de $4,089.282 \pm 1,648.093 \mu\text{g/g}$ de pelo. En el día 2 de edad la concentración promedio de sodio en pelo de los potros fue de $4,507.781 \pm 2,036.557 \mu\text{g/g}$ de pelo que fue el punto más alto en la concentración de sodio en el pelo de los potros. Las concentraciones en los días 8, 32 64 y 128 fueron $2,400.682 \pm 140.658$, $2,285.133 \pm 540.312$, $2,330.590 \pm 1,343.726$, $1,475.354 \pm 698.225$, respectivamente. Las concentraciones promedio de sodio en ningún tiempo de muestreo de este estudio correspondieron a las reportadas por ningún autor, por lo que se puede explicar que las concentraciones de sodio en pelo de los potros se deben a la deposición de este mineral en la etapa fetal del potro²⁰.

El análisis estadístico mostró que la concentración promedio de sodio en pelo de los potros a través del tiempo no fue estadísticamente significativa con respecto a la concentración promedio de sodio en leche a través del tiempo. Sin embargo, la concentración promedio de sodio en pelo fue estadísticamente significativa ($P < 0.05$) en el día 8 de edad con respecto a la concentración promedio de sodio en leche de la yegua del día 8 de la lactación. Los datos se muestran en el cuadro 13. Donde por cada $1 \mu\text{g}$ de sodio/g de leche que esta aumente, la concentración promedio de sodio en pelo del potro aumenta $63.98 \mu\text{g/g}$ de pelo.

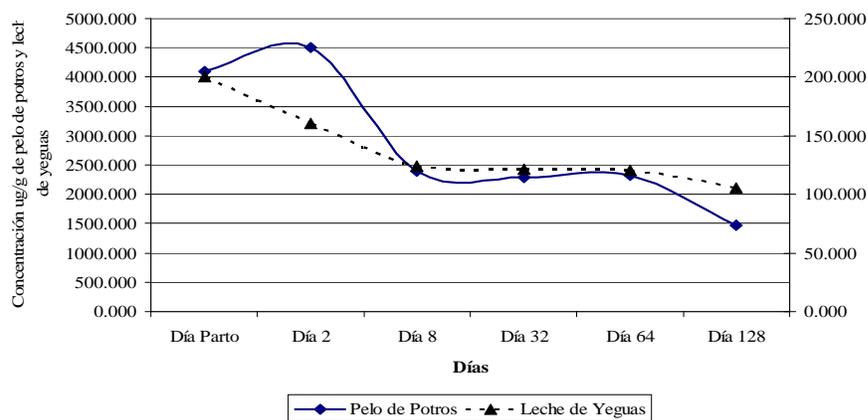
Cuadro 13. Estimadores de significancia estadística en el tiempo 3 muestreo con la interacción de las concentraciones de sodio en pelo de potro y leche de yegua

Term	Estimador	Error Estándar	Relación T	Prob>t
Intercept	-5528.564	1608.138	-3.44	0.0185
Naleche3	63.908124	12.86673	4.97	0.0042*

Se puede decir que la concentración promedio de sodio en el pelo de los potros en el día 8 de edad, puede ser explicada con la concentración de sodio en leche en el día 8 de la lactación ya que al ingerir, el potro, la leche de la madre, adquiere los nutrientes de esta, que son necesarios para el mantenimiento de las funciones vitales, en el caso de sodio, el mantenimiento de los gradientes electro-químicos y el equilibrio ácido-base, son sus principales funciones^{1, 2, 50}. El pelo es muy higroscópico y la capacidad de absorción esta dada por las capas queratinizadas de este, por lo que en condiciones medioambientales secas, absorbe el agua del ambiente, por lo que las células tienen que regular ese equilibrio en la concentración de electrolitos⁵⁷.

En la figura 27a se muestra la relación de las concentraciones promedio, tanto de pelo de potros, como de leche de yeguas donde los valores de la concentración promedio de leche de yegua se encuentran del lado derecho y la concentración promedio de pelo de potro a la izquierda de la figura.

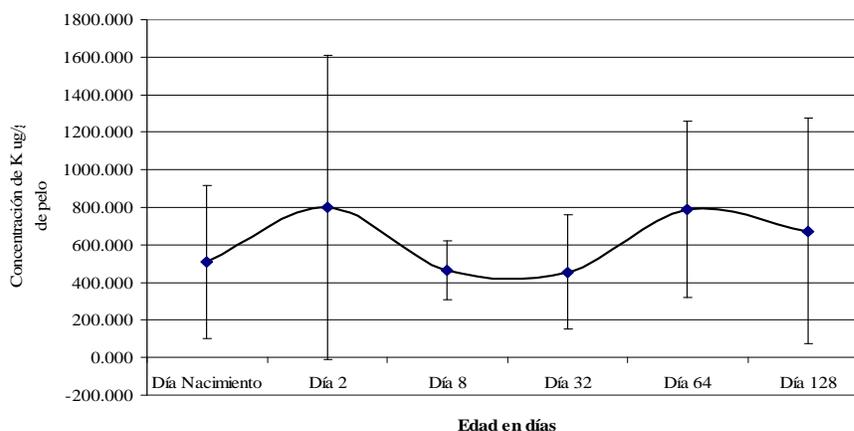
Figura 27a. Concentración promedio de Sodio en pelo de potros y leche de yeguas



Potasio

En la figura 28 se muestra la concentración promedio de potasio en pelo de potros en diferentes momentos de la lactación de sus madres.

Figura 28. Concentración promedio de potasio en pelo de potros



Se observa que la concentración promedio de potasio en pelo de los potros al día de su nacimiento fue de $511.219 \pm 406.847 \mu\text{g/g}$ de pelo. El comportamiento de esta concentración promedio durante toda la lactación es inverso a la presentada por sodio lo que confirma la asociación entre estos elementos, excepto en el día 2 de la lactación donde la concentración promedio de potasio aumenta al igual que la de sodio^{20, 50}.

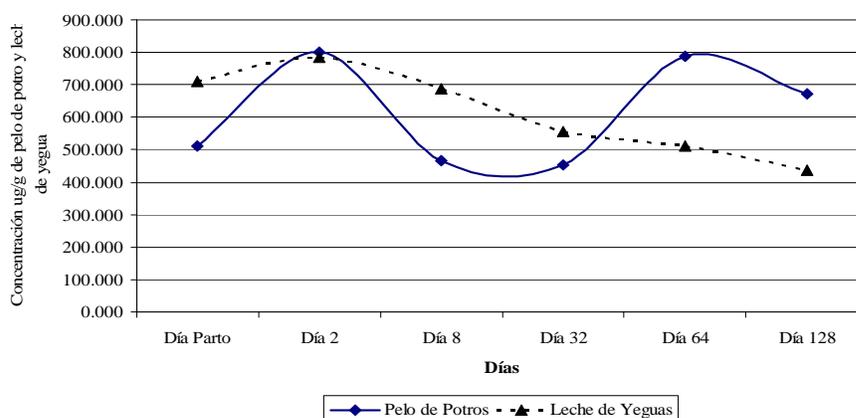
Las concentraciones promedio de potasio en pelo de los potros a los días 2, 8, 32, 64 y 128 fueron 800.016 ± 810.865 , 466.653 ± 156.759 , 454.370 ± 304.004 , 787.969 ± 469.549 y 673.285 ± 599.325 respectivamente. Ninguna de las concentraciones se encuentra en los valores reportados por Asano *et al.*, y están muy por debajo de las concentraciones reportadas por este autor⁴².

En la figura 28a se muestra el comportamiento de la concentración promedio de potasio en pelo de potros con respecto a la concentración promedio en leche de yegua.

La concentración promedio de potasio en pelo de los potros no fue estadísticamente significativa, ni en el análisis de varianza a través del tiempo, ni en la regresión lineal simple con cortes en

el tiempo por lo que podemos decir que la concentración promedio de potasio en pelo de los potros, para este estudio, no es dependiente de la concentración de potasio en leche de sus madres.

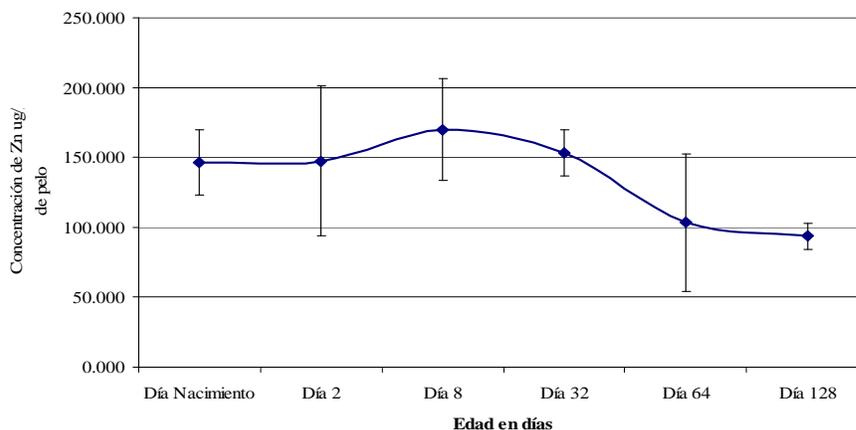
Figura 28a. Concentración promedio de potasio en pelo de potro y leche de yegua



Zinc

En la Figura 29 se muestra la curva de la concentración de zinc en pelo de potros en diferentes momentos de la lactación de sus madres.

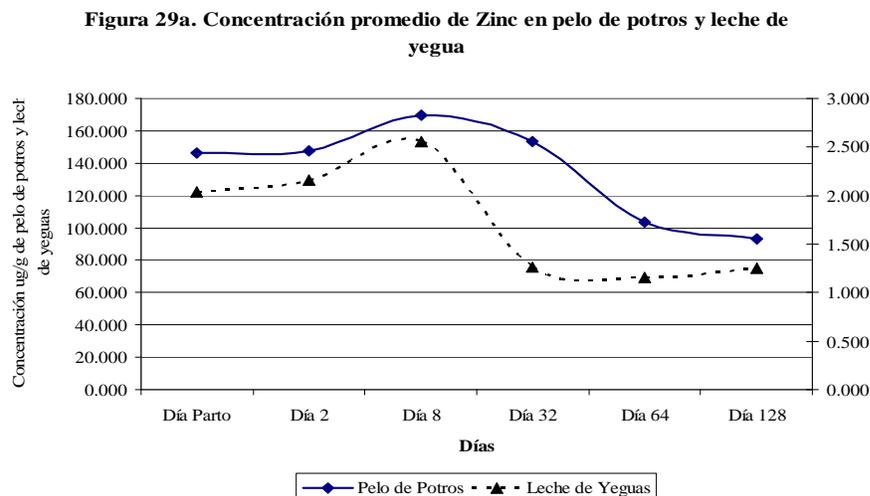
Figura 29. Concentración promedio de zinc en pelo de potros



Se observa la concentración promedio de zinc en pelo de los potros la cual fue de 146.441 ± 23.481 el día de nacimiento, con una ligera variación hasta llegar a 147.465 ± 53.726 en el

día 2 del nacimiento. Las concentraciones a los días 8, 32, 64 y 128 fueron 169.941 ± 36.607 , 153.264 ± 16.266 , 103.402 ± 49.131 y 93.524 ± 9.649 , respectivamente. Gibson y DeWolfe (1979)(25) encontraron concentraciones similares (138 ± 31 a $224 \pm 38 \mu\text{g/g}$ de pelo) en humanos recién nacidos y en correspondencia con Asano *et al.* que encontró valores entre 189.662 ± 38.108 a $269.225 \pm 46.168 \mu\text{g/g}$ de pelo⁴². De conformidad con lo establecido por Combs *et al.* y Combs la concentración de zinc en pelo tiene una correlación positiva con la concentración en la dieta, aunque en pelo no es un indicador confiable del estatus de este mineral en el organismo, ya que el pelo funge como “almacén” ya que cumple un papel esencial en la queratogénesis^{31, 32, 37, 57}.

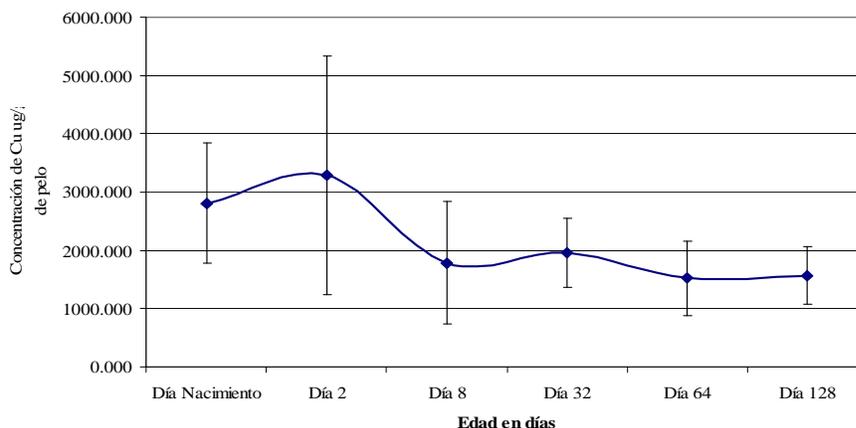
En el análisis estadístico la concentración promedio de zinc en pelo de los potros no fue estadísticamente significativa con respecto de la concentración de la concentración de zinc en leche de sus madres, ni en el análisis a través de tiempo, ni en el análisis por cortes en el tiempo de muestreo, a pesar que ambas concentraciones se comportan de manera similar, tal como se muestra en la figura 29a.



Cobre

En la figura 30 se muestra la curva de concentraciones promedio de cobre en pelo de los potros en diferentes momentos del periodo de lactación de sus madres.

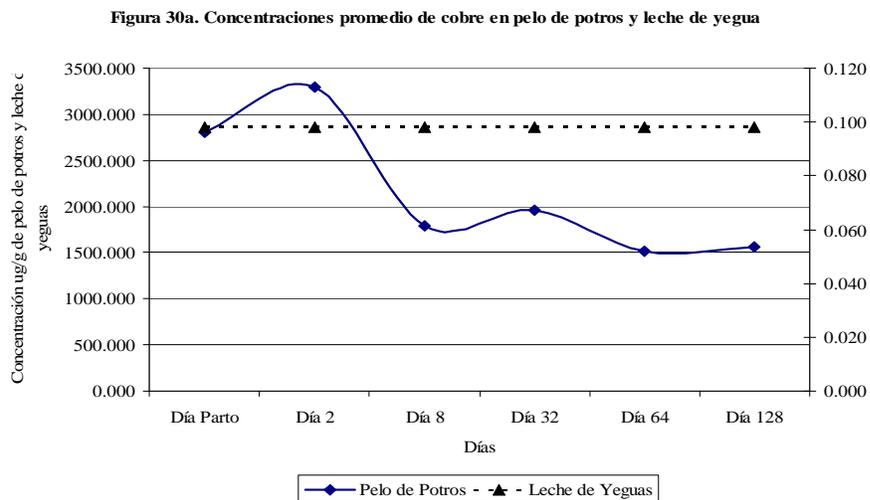
Figura 30. Concentración promedio de cobre en pelo de potros



Se puede observar que la concentración promedio de cobre al día de nacimiento de los potros es de $2,808.834 \pm 1,029.850 \mu\text{g/g}$ de pelo. En los posteriores días 2, 8, 32, 64 y 128 de la lactación las concentraciones promedio fueron $3,292.902 \pm 2,045.546$, $1,786.440 \pm 1,055.212$, $1,958.386 \pm 586.993$, $1,520.113 \pm 636.674$ y $1,567.299 \pm 494.640 \mu\text{g/g}$ de pelo. Estas concentraciones son más altas a las reportadas por cualquiera de los autores. Esto puede explicarse de conformidad con lo establecido por Combs et al. y Combs quienes mencionan que no existe una correlación entre la concentración de cobre en hígado y la dieta, con la concentración en pelo^{31, 32}. De modo que podemos decir que la concentración de cobre en los potros depende de la concentración *in utero* según lo establecido por NRC 2006²⁰.

La concentración promedio de cobre en pelo de los potros no fue estadísticamente significativa, tanto en el análisis de varianza a través del tiempo, como en el análisis de regresión lineal con cortes en cada tiempo de muestreo. En la figura 30a se muestran las

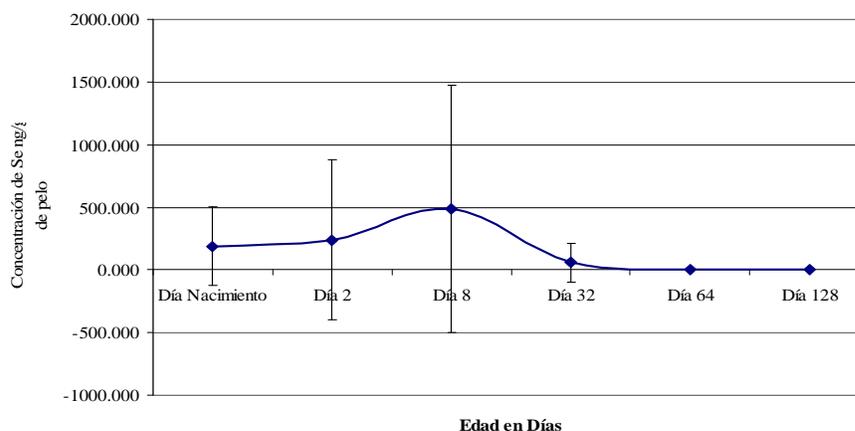
curvas de comportamiento de las concentraciones promedio de cobre, tanto de pelo de los potros como de la leche de sus madres.



Selenio.

Se muestra en la figura 31 la concentración promedio de selenio en pelo de potros durante un periodo de la lactación de sus madres.

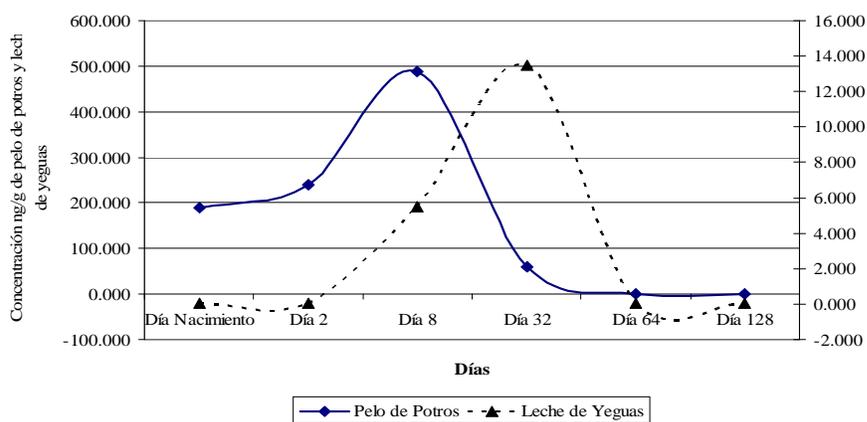
Figura 31. Concentración promedio de selenio en pelo de potros



Las concentraciones promedio de selenio en pelo de los potros desde el día de nacimiento, días 2, 8, 32, 64 y 128 de edad fueron 189.487 ± 312.082 , 240.828 ± 637.169 , 488.328 ± 982.903 , 59.125 ± 156.428 , 0.00048 y 0.00048 ng/g de pelo, respectivamente. Se observa que las concentraciones promedio resultan ser similares a las reportadas por Asano *et al.*, que oscilan entre 364 ± 384 a 658 ± 299 ng/g de pelo⁴². De conformidad con lo establecido por Waltner–Thoews *et al.*, al parecer no existe ningún órgano ni tejido que proporcione una evidencia clara de la concentración de selenio en el organismo, aunque las concentraciones fueron muy altas en hígado, sangre y hueso, no son confiables para evidenciar el estado de este mineral en el organismo⁵⁸. De conformidad con lo reportado por Combs *et al.* y Combs las concentraciones en los tejidos tienden a reflejar la concentración dietaria, mas si las fuentes dietarias son de naturaleza orgánica, pero al existir una concentración mínima, el organismo comienza a ser eficiente en el uso del recurso ofrecido^{31, 32}.

En la figura 31a se muestran las concentraciones promedio de selenio en pelo de potros y de leche de sus madres, donde se observa la baja asociación de estas muestras entre si, donde los datos a la derecha son los valores de la concentración promedio de selenio en leche y los de la izquierda la concentración promedio de selenio en pelo de potro.

Figura 31a, Concentraciones promedio de selenio en pelo de potros y leche de yeguas



VII. CONCLUSIONES

Con este trabajo se puede concluir que la dieta aportada a las yeguas de la UPM Montada, excede los requerimientos de Proteína Cruda, Energía Digestible, pero tiene un déficit en los minerales abordados en esta investigación excepto fósforo, el cual excede la recomendación de NRC (2006). Aunque aparentemente, tanto las yeguas como sus potros, no presenten signos aparentes de deficiencias minerales, se recomienda modificar la dieta de estos animales por una dieta que cubra puntualmente los requerimientos nutricionales y evitar problemas asociados a la nutrición, tanto en los potros como en las yeguas.

Para este estudio, el contenido de minerales en leche, a través del tiempo, no pudo ser explicado por la concentración de estos en sangre y pelo de las yeguas, ya que no fue estadísticamente significativo ($P > 0.05$). Esto evidencia, que en este trabajo, la sangre y el pelo no se pueden usar como herramientas diagnósticas para explicar la concentración de minerales en leche a través del tiempo.

Se concluye que la concentración de minerales en leche no afecta la concentración de los mismos en el pelo del potro a través del tiempo, por lo que la concentración de minerales en leche, no puede ser utilizada como una herramienta diagnóstica para explicar la concentración de minerales en el pelo de los potros, ya que esta, no resultó estadísticamente significativa en este estudio ($P > 0.05$).

Se pudo observar que las concentraciones de minerales en la leche de las yeguas de este estudio fueron similares a las reportadas por otros autores, por lo que se puede concluir que a pesar de que la dieta no está balanceada, el organismo mantiene el mismo perfil mineral en la leche a costa de sus reservas. En virtud de lo observado, se puede decir que existe una

disminución en la deposición de estos elementos en la matriz folicular, en comparación con otros estudios, con el fin de mantener las concentraciones adecuadas en la leche.

En este estudio, se confirma que las concentraciones sanguíneas de Ca y P se mantienen en límites muy estrechos, a pesar de la deficiencia o exceso de estos en la dieta, respectivamente, debido a los sistemas de regulación de estos elementos. Por el contrario, en el caso de algunos otros elementos, como el magnesio, muestran inmediatamente la deficiencia dietaria a través de sus concentraciones séricas.

VIII. LITERATURA CITADA

1. McDowell L R. Minerals in Animal and Human Nutrition, Academic Press Inc. 1992
2. Underwood E.J., Suttle N.F., Los Minerales en la Nutrición del Ganado, 3a edición, Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España, 2003.
3. S.R. Cooper; D.R. Topliff; D. W. Freeman; M.A. Collier; O.K. Balch, Evaluation Of Bone Mineral Content In Equine Cadavers And Pregnant Mares, Journal of Equine Veterinary Science, 2001
4. Gibbs PG, Potter GD, Blake RW, McMullan WC, Milk production of quarter horse mares during 150 days of lactation, Animal Science. 1982 Mar; 54(3):496-9.
5. Pieszka, M. The Composition of Arabian Mares' Milk. Horse Breeding Department, Agricultural University, Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Krakovia, Polonia 2000
6. Ensminger M. E. Horse and Horsemanship (Animal Agriculture Series). Séptima edición. Estados Unidos de América, 1999
7. Frape D. *Nutrición y Alimentación del Caballo. Edit. Acribia. Zaragoza, España. 1992
8. Newman, A.-Sorensen, D.E., Tribe. World Animal Science C, Production-System Approach 7. Horse Breeding And Management. Elsevier editorial, Texas A&M University, EUA 1992
9. http://es.encarta.MSn.com/encyclopedia_761562654/Caballo.html
10. Perkin-Elmer Co. Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrophotometry. Northwalk (CO) USA: The Perkin-Elmer Co, 1982.

11. National Research Council. Nutrient Requirements of Horses. Fifth Revised Edition. Washington DC, USA: National Academic Press, 1989.
12. M. Caroprese, M. Albenzio, R. Marino, A. Muscio, T. Zezza and A. Sevi, Journal of Dairy Science, volume 90, issue 6, páginas 2773-2777, 2007 Behavior, milk yield, and milk composition of machine-and hand-milked Murgesse mares.
13. Schryver H. F., Oftedal O. T., Williams J., Cymbaluk N. F., Antczak D., Hintz H. F. A Comparison of the Mineral Composition of Milk of Domestic and Captive Wild Equids (*Equus przewalski*, *E. zebra*, *E. burchelli*, *E. caballus*, *E. assinus*), Comp Biochem Physiol, 1986 Vol 58A, No. 2, paginas 233-235
14. Csapó-Kiss Zs., Stefler J, Martin T. G., Makray and Csapó J., "Composition of Mares' Colostrum and Milk. Protein Content, Amino Acid Composition and Contents of Macro- and Micro-elements", International Dairy Journal 5, 1995, paginas 403-415.
15. Smolders E. A. A., Van der Veen N.G. and Van Polanen A. "Composition of Horse Milk During the Suckling Period" Livestock Production Science, 25, 1990, páginas 163-171, AMsterdam.
16. Anderson R. R., "Comparison of Trace Elements In Milk of Four Species", Journal of Dairy Science, 1992, 75, páginas 3050-3055, Columbia.
17. Schryver H. F., Oftedal O. T., Williams J., Soderholm, L.B., Hintz H. F., "Lactation in the Horse: Mineral Composition of Mare Milk" Journal of Nutrition, 1986, 116, páginas 2142-2147, Washington D.C.
18. Memorias del Curso Nacional de Nutrición Equina. Alimentación por Actividad Física y Técnicas de Alimentación, FMVZ-UNAM, Junio de 2007.

19. Sarwar A, Enbergs H and Klug E., Influences of parity, age and mineral and trace element mixture on lysozyme activity in mare's milk during early lactation period.. Veterinarski Arhiv 71 (3), 139-147, 2001
20. National Research Council. Nutrient Requirements of Horses. Sixth Revised Edition. Washington DC, USA: National Academic Press, 2006.
21. Berlin D, Aroch Itamar., Concentrations of ionized and total magnesium and calcium in healthy horses: Effects of age, pregnancy, lactation, pH and sample type., The Veterinary Journal, Volumen 181, Issue 3, Septiembre 2009, Páginas 305-311
22. Martuzzi F, Summer A, Formaggioni P, Mariani P., Milk of Italian Saddle and Haflinger nursing mares: physico – Chemical Characteristics, Nitrogen Composition and Mineral Elements at the End of Lactation. Short Communication., Dipartimento di Produzioni Animali, Biotecnologie veterinarie, Qualità e Sicurezza degli Alimenti., Università di Parma, Italy, Italian. Journal of Animal .Science. VOL. 3, 293-299, 2004.
23. Shimada Miyasaka Armando, Nutrición Animal. Ed Trillas, Mexico D.F. Reimpresión 2007.
24. Hand Michael S., Thatcher Craig D., Remillard Rebecca L., Roudebush Philip. Nutrición Clínica de Pequeños Animales, 4ta edición, Mark Morris Institute, Santa Fe de Bogotá, Colombia, 2000.
25. Gibson R. S. and De Wolfe S. The zinc, cooper, manganese, vanadium and iodine content of hair from 38 Canadian neonates. Journal of Pediatric Research, Volumen 13, 959-962, 1979.
26. Mark V. Crisman, Douglas K. Carmel, Pierre Lessard, and William B. Ley. A survey of whole blood selenium concentrations of horses in Virginia and Maryland, Journal of Equine Veterinary Science, Volume 14, Issue 5, May 1994, pp 256-261.

27. Campabadal, C. "Balances nutricionales en la alimentación de Caballos". CIA, Universidad de Costa Rica. Asociación americana de soya.
28. Pellegrini Ariel G. Un poco de Historia. <http://www.vidaecuestre.com.ar/alimentpellegrini.htm>. Alimentación del Caballo. Argentina
29. Tejada de Hernández I., Control de Calidad y Análisis de Alimentos para Animales, México D.F. 1992
30. Perkin-Elmer Co. Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrometry. Northwalk (CO) USA: The Perkin-Elmer Co, 1993
31. Combs D.K., Goodrich R. D., Meiske J.C. Mineral concentrations in hair as indicators of mineral status: a review. Journal of Animal Science, Volume 54, pages 391-398. Universidad de Minnesota, St Paul, EUA, 1982
32. Combs D.K. Hair analysis as an indicator of mineral status of livestock. Journal of Animal Science, Volume 65, pages 1753-1758. Universidad de Wisconsin, Madison, EUA, 1987.
33. W. E. Petersen. New Developments in the Physiology and Biochemistry of Lactation; a Review. Journal of Dairy Science 25: 71-96, Saint Paul, Minnesota, EUA 1942
34. Shennan D.B. and Peaker M. Transport of Milk Constituents by the Mammary Gland. American Physiological Society, Hannah Research institute, Ayr, Escocia, 2000
35. Mannan S. y Picciano M.F. Influence of maternal selenium status on human milk selenium concentration and glutathione peroxidase activity. The American Journal of Clinical Nutrition 1987;46:95-100. American Society for Clinical Nutrition

36. Doreau M., Boulot S., Bauchart D., Barlet J. and Patureau-Mirand P. Yield and composition of milk from lactating mares: effect of lactation stage and individual differences. *Journal of Dairy Research*, 57:449-454. 1990
37. Dunnet M., *The Diagnostic Potential of Equine Hair: A Comparative Review of Hair Analysis for Assessing Nutritional Status, Environmental Poisoning, and Drug Use and Abuse*. Royal Veterinary College, University of London, UK 2005
38. Bashir A. and Rasedee A. Plasma Catecholamines, Sweat Electrolytes and Physiological Responses of Exercised Normal, Partial Anhidrotic and Anhidrotic Horses. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences* 4 (1): 26-31, 2009
39. Kienzle E. Factorial Calculation of Nutrient Requirements in Lactating Queens. *Journal of Nutrition* 128 (12): 2609S. (1998)
40. Burton D.J., Routh J.L. *Química Orgánica y Bioquímica*. Mc Graw-Hill, Iowa EUA 1977.
41. A. S. Santos and A. M. Silvestre. A Study of Lusitano Mare Lactation Curve with Wood's Model. *Journal of Dairy Science*. 91:760–766 Castelo Viegas, Portugal. 2008.
42. Kimi Asano, Kazuyuki Suzuki, Momoko Chiba , Koichiro Sera , Tsutomu Matsumoto , Ryuji Asano and Takeo Sakai. Influence of the coat color on the trace elemental status measured by particle-induced x-ray emission in horse hair. *Biological Trace Element Research*, Volume 103, Number 2 / febrero de 2005
43. Cape L., Hintz H. F. Influence of month, color, age, corticosteroids, and dietary molybdenum on mineral concentration of equine hair. *American Journal of Veterinary Research*. Vol 43, No7. 1982

44. Martin K. L., Hoffman R. M., Kornfeld D. S., Ley W. B. and Warnick L. D. Calcium decreases and parathyroid hormone increases in serum of periparturient mares. *Journal of Animal Science* Vol 74, 834-839, 1996.
45. Berlin D. and Aroch I. Concentrations of ionized and total magnesium and calcium in healthy horses: Effects of age, pregnancy, lactation, pH and sample type. *The Veterinary Journal*. Volume 181, Issue 3, Pages 305-311, September 2009.
46. Safwate A., Davicco M. J., Barlet J. P., Delost P. Sodium and potassium in blood and milk and plasma aldosterone levels in high-yield dairy cows. *Reproduction and Nutrition Developments* vol 21 601-610, 1981
47. Breedveld L., Jackson S.G. and J.P. Baker. The determination of a relationship between the copper, zinc and selenium levels in mares and those in their foals. *Journal of Equine Veterinary Science* Volume 8, Issue 5, September-October 1988, Pages 378-382
48. Cymbaluk N.F. and Christison G. I. Effect of dietary energy and phosphorus content and blood chemistry and development of growing horses. *Journal of Animal Science*, Volumen 67, 951-958, 1989.
49. Okumura M., Asano M., Tagami M., Tsukiyama K., and Fujinaga T. Serum Copper and Ceruloplasmin Activity at the Early Growing Stage in Foals. *Canadian Journal of Veterinary Research*. Volumen 62: 122-126. 1998
50. Georgievskii V. I. *Mineral Nutrition of Animals*. Edit. Butterworths, Moscu, 1979
51. Crisman M. V., Carmel D. K., Lessard P. and Ley W. A survey of whole blood selenium concentrations of horses in Virginia and Maryland. *Journal of Equine Veterinary Science*, Volume 14, Number 5, 1994.

52. Summer A., Sabbioni A., Formaggioni P., Mariani P. Trend in ash and mineral element content of milk from Halfinger nursing mares throughout six lactation months. *Livestock Production Science*, Vol 88, 55-62, 2004
53. Ullrey D. E., Struthers R. D., Hendricks D. G. and Brent B. E. Composition Of Mare's Milk. *Journal of Animal Science*, Vol. 25, 217-222, 1966.
54. Martuzzi F., Summer A., Formaggioni P., Mariani P. Milk of Italian Saddle and Haflinger nursing mares: physico – chemical characteristics, nitrogen composition and mineral elements at the end of lactation. *Italian Journal of Animal Science*, Vol. 3, 293-299, 2004
55. Kavazis A. N., Kivipelto J., and Ott E. A. Supplementation of broodmares with copper, zinc, iron, manganese, cobalt, iodine and selenium. *Journal of Equine Veterinary Science*, Volume 22, Number 10, 2002.
56. Mannan S. and Picciano M.F., Influence of maternal selenium status on human milk selenium concentration and glutathione peroxidase activity. *The American Journal of Clinical Nutrition* 1987;46: 95-100.
57. Peña O. M. Estudio Microanalítico Comparativo del contenido de los Bioelementos secundarios en pelos y uñas de pacientes con insuficiencia renal crónica en prediálisis y hemodálisis. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. 2008.
58. Waltner – Thoews D., Martin S. W. and Meek A. H. Selenium content in the hair of Newborn Dairy Heifer Calves its association with Preweaning Morbidity and Mortality. *Canadian Journal of Veterinary Research*. Volume 50, pp 347-350, 1986.

ANEXO I

RESULTADOS PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LAS DETERMINACIONES OBTENIDAS DEL ANALISIS INSTRUMENTAL

Cuadro 1. Concentración de minerales en leche de yegua

Elemento/ Día	Día del Parto	Día 2 Posparto	Día 8 Posparto	Día 32 Posparto	Día 64 Posparto	Día 128 Posparto
Ca	1560.06	1734.03	2128.82	1981.61	1948.15	1531.95
	(255.86)	(286.24)	(340.12)	(283.11)	(354.04)	(416.42)
P	1860.558	2397.362	1318.066	959.365	671.694	715.694
	(841.81)	(1512.43)	(157.53)	(439.34)	(88.43)	(438.73)
Mg	71.049	41.783	43.626	32.009	26.968	21.694
	(29.791)	(7.664)	(2.628)	(4.505)	(3.737)	(2.417)
Na	200.155	160.124	124.073	121.543	120.127	105.086
	(23.059)	(40.245)	(16.275)	(12.645)	(21.487)	(27.819)
K	710.196	784.320	687.866	557.322	511.606	436.425
	(183.857)	(117.285)	(55.473)	(17.471)	(68.631)	(102.853)
Zn	2.042	2.162	2.557	1.260	1.153	1.253
	(1.542)	(0.792)	(2.814)	(0.483)	(0.280)	(0.499)
Cu	0.098*	0.098*	0.098*	0.098*	0.098*	0.098*
			5.516	13.467		
Se ¹	0.042*	0.042*	(14.484)	(35.519)	0.042*	0.042*

Concentraciones en µg/g de leche. La desviación estándar se encuentra entre paréntesis.

* Concentraciones por debajo de los límites de detección. ¹ Concentración en ng/g de leche

Cuadro 2. Concentración de minerales en pelo de yegua

Elemento/ Día	Día del Parto	Día 2 Posparto	Día 8 Posparto	Día 32 Posparto	Día 64 Posparto	Día 128 Posparto
Ca	1384.563	1378.541	1108.545	1053.342	1035.275	1240.030
	(245.001)	(224.221)	(300.084)	(207.608)	(219.860)	(212.753)
P	68.508	83.409	142.601	228.559	167.298	157.088
	(17.133)	(36.527)	(98.837)	(62.408)	(54.309)	(89.216)
Mg	330.348	284.994	189.188	134.036	152.466	334.749
	(116.674)	(127.087)	(101.033)	(29.420)	(44.465)	(114.060)
Na	684.341	688.214	614.317	375.813	569.060	432.540
	(502.359)	(607.154)	(582.001)	(336.022)	(429.719)	(717.496)
K	2825.484	2524.548	2259.394	1032.960	1822.507	2894.546
	(1124.310)	(1144.713)	(1531.168)	(817.186)	(1215.395)	(2003.096)
Zn	142.488	145.994	145.356	140.470	141.320	131.122
	(22.867)	(17.262)	(14.793)	(29.303)	(12.240)	(8.165)
Cu	26.601	16.313	15.805	26.347	19.615	25.077
	(16.374)	(3.110)	(2.981)	(17.460)	(4.620)	(9.059)
Se ¹	1.943	1.880	2.066	2.217	1.833	2.400
	(1.395)	(1.083)	(1.326)	(1.285)	(0.846)	(1.738)

Concentraciones en µg/g de pelo. La desviación estándar se encuentra entre paréntesis

¹ Concentración en ng/g de pelo

Cuadro 3. Concentración de minerales en suero de yegua

Elemento/ Día	Día del Parto	Día 2 Posparto	Día 8 Posparto	Día 32 Posparto	Día 64 Posparto	Día 128 Posparto
	183.495	172.745	263.525	219.329	247.997	316.082
Ca	(86.587)	(4.587)	(163.238)	(103.633)	(99.520)	(191.122)
	5.435	6.910	4.773	5.030	4.227	5.742
P	(1.559)	(2.535)	(1.584)	(1.659)	(1.337)	(1.405)
	10.229	8.300	11.243	11.802	9.621	8.364
Mg	(4.817)	(2.750)	(4.092)	(4.797)	(3.819)	(4.125)
	1075.829	944.762	975.381	964.552	928.705	996.666
Na	(290.269)	(76.675)	(97.935)	(95.930)	(77.892)	(280.758)
	954.470	857.757	851.409	837.780	822.656	860.371
K	(299.486)	(63.696)	(74.696)	(69.115)	(119.943)	(256.437)
	13.803	15.093	16.614	18.687	18.457	15.001
Zn	(4.491)	(3.371)	(6.875)	(3.463)	(6.201)	(6.252)
	2.224	1.723	0.972	1.348	1.723	0.972
Cu	(1.554)	(0.975)	(0.690)	(0.605)	(1.099)	(0.469)
	170.973	159.077	129.476	174.427	161.783	158.184
Se ¹	(59.801)	(26.278)	(51.591)	(86.249)	(53.543)	(43.564)

Concentraciones en µg/ml de sangre. La desviación estándar se encuentra entre paréntesis.

¹ Concentración en ng/ml de sangre

Cuadro 4. Concentración de minerales en pelo de potros

Elemento/ Día	Día del Parto	Día 2 Posparto	Día 8 Posparto	Día 32 Posparto	Día 64 Posparto	Día 128 Posparto
	2808.834	3292.902	1786.440	1958.386	1520.113	1567.299
Ca	(1029.85)	(2045.546)	(1055.212)	(586.993)	(636.674)	(494.640)
	45.690	37.108	38.066	29.255	37.953	36.810
P	(25.996)	(34.791)	(28.167)	(32.980)	(24.013)	(16.014)
	192.516	257.552	177.589	205.043	191.270	184.708
Mg	(34.272)	(189.770)	(82.403)	(101.055)	(128.274)	(67.481)
	4089.282	4507.781	2400.682	2285.133	2330.590	1475.354
Na	(1648.093)	(2036.557)	(1140.658)	(540.312)	(1343.726)	(698.225)
	511.219	800.016	466.653	454.370	787.969	673.285
K	(406.847)	(810.865)	(156.759)	(304.004)	(469.549)	(599.325)
	146.441	147.465	169.941	153.264	103.402	93.524
Zn	(23.481)	(53.726)	(36.607)	(16.266)	(49.131)	(9.649)
	42.475	59.562	35.407	34.876	38.687	17.319
Cu	(6.189)	(25.220)	(11.790)	(8.517)	(21.084)	(5.160)
	189.487	240.828	488.328	59.125		
Se ¹	(312.082)	(637.169)	(982.903)	(156.428)	0.00048*	0.00048*

Concentraciones en µg/g de pelo. La desviación estándar se encuentra entre paréntesis.

¹ Concentración en ng/ml de pelo * Concentraciones por debajo de los límites de detección

ANEXO II

CUADROS DE ANALISIS DE VARIANZA CUYA VARIABILIDAD ESTADÍSTICA RESULTARON SIGNIFICATIVAS A TRAVÉS DEL TIEMPO

Cuadro 1. Comportamiento de las interacciones de Calcio en pelo de yeguas

FV	F	GLn	GLd	P
Peso	0.1162	1	5	0.7471
Tiempo	655.47	5	1	0.0296*
Tiempo/peso	617.24	5	1	0.0305*

Cuadro 2. Comportamiento de las interacciones de Mg sérico de yeguas

FV	F	GLn	GLd	P
peso	0.4389	1	5	0.537
tiempo	18686.702	5	1	0.0056
tiempoxpeso	22873.183	5	1	0.005

Cuadro 3. Comportamiento de las interacciones de Na sérico de yeguas

FV	F	GLn	GLd	P
peso	1.432	1	5	0.2851
tiempo	482.6771	5	1	0.0345
tiempoxpeso	495.5077	5	1	0.0341

Cuadro 4. Comportamiento de las interacciones de P en pelo de yeguas

FV	F	GLn	GLd	P
peso	10.9701	1	5	0.0212
tiempo	0.5596	5	1	0.7611
tiempoxpeso	0.7405	5	1	0.7024

Cuadro 5. Comportamiento de las interacciones de Se en leche de yeguas

FV	F	GLn	GLd	P
peso	0.8289	1	5	0.04043
tiempo	0.0404	5	1	0.9958
tiempoxpeso	0.0332	5	1	0.9973

Cuadro 6. Comportamiento de las interacciones de P sérico de yeguas

FV	F	GLn	GLd	P
peso	0.0759	1	5	0.7939
tiempo	231.5426	5	1	0.0498
tiempoxpeso	194.3637	5	1	0.0544

ANEXO III

CUADROS DEL ANALISIS DE REGRESION LINEAL CON CORTES EN EL TIEMPO DE LOS MINERALES EN SANGRE Y PELO QUE EXPLICAN EL CONTENIDO DE MINERALES EN LECHE DE YEGUA

Cuadro 1. Comportamiento estadístico del calcio en el tiempo 1 de muestreo

FV	SC	Grados de libertad	F	P
Ca Pelo	153581.9	1	8.402	0.0626
Ca sanguíneo	234960.5	1	12.854	0.0371*
Peso	136114.6	1	7.446	0.072
Error	54837.725	3		

Cuadro 1A. Estimadores del comportamiento de la concentración de calcio en leche con respecto al pelo, en sangre y peso promedio de las yeguas

Variable Explicativa	Estimador	Error estándar
Ordenada al origen	-2662.924	1554.906
Ca Pelo	-2.305	0.7952
Ca Sangre	2.3225	0.6478
Peso	15.287	5.6

Cuadro 2. Comportamiento estadístico del calcio en el tiempo 2 de muestreo

FV	SC	Grados de libertad	F	P
Ca Pelo	175720.1	1	4.4154	0.1035
Ca sanguíneo				
Peso	329897.1	1	8.289	0.0451*
Error	175720.1	1	4.4154	0.1035

Cuadro 2A. Estimadores del comportamiento de la concentración de calcio en leche con respecto al peso promedio de las yeguas

Variable Explicativa	Estimador	Error estándar
Ordenada al origen	8248.7826	3799.108
Ca Pelo	-1.219	0.6932
Ca Sangre		
Peso	-10.63279	6.107

Cuadro 3. Comportamiento estadístico del calcio en el tiempo 3 de muestreo

FV	SC	Grados de libertad	F	P
Ca Pelo	583413.5	1	33.402	0.0045*
Ca sanguíneo				
Peso	291157.7	1	16.669	0.0151*
Error	69866.397	4		

Cuadro 3A. Estimadores del comportamiento de la concentración de calcio en leche con respecto a la concentración de pelo y el peso promedio de las yeguas

Variable Explicativa	Estimador	Error estándar
Ordenada al origen	-2480.807	866.8836
Ca Pelo	1.2277	0.1921
Ca Sangre	0.4212	0.324
Peso	6.8334	1.657

Cuadro 4. Comportamiento estadístico del magnesio en el tiempo 3 de muestreo

FV	SC	Grados de libertad	F	P
Mg Pelo	0.879557	1	0.322	0.6006
Mg sanguíneo	2.469998	1	1.059	0.3615
Peso	29.64517	1	12.566	0.0165*
Error	11.796213	5		

Cuadro 4A. Estimadores del comportamiento de la concentración de magnesio en leche con respecto a la concentración sérica y de pelo y el peso promedio de las yeguas

Variable Explicativa	Estimador	Error estándar
Ordenada al origen	66.202899	12.51675
Mg Pelo	0.0035375	0.008484
Mg Sangre	0.1497753	0.177112
Peso	-0.054534	0.024612

Cuadro 5. Comportamiento estadístico del magnesio en el tiempo 4 de muestreo

FV	SC	Grados de libertad	F	P
Mg Pelo	72.62715	1	7.388	0.0419*
Mg sanguíneo	9.377847	1	0.943	0.3865
Peso	1.073011	1	0.089	0.78
Error	49.15	5		

Cuadro 5A. Estimadores del comportamiento de la concentración de magnesio en leche con respecto a la concentración sérica y de pelo y el peso promedio de las yeguas

Variable Explicativa	Estimador	Error estándar
Ordenada al origen	16.12102	21.41789
Mg Pelo	0.0782527	0.07272
Mg Sangre	0.3619525	0.456103
Peso	0.0024652	0.046928

Cuadro 6. Comportamiento estadístico de sodio en el tiempo 5 de muestreo

FV	SC	Grados de libertad	F	P
Na Pelo	1820.743	1	39.607	0.0033*
Na sanguíneo	498.9464	1	10.854	0.0301*
Peso	16.90194	1	0.304	0.62
Error	183.88088	4		

Cuadro 6A. Estimadores del comportamiento de la concentración de sodio en leche con respecto a la concentración sérica y la concentración en pelo de las yeguas

Variable Explicativa	Estimador	Error estándar
Ordenada al origen	16.380269	49.01481
Na Pelo	-0.042658	0.007869
Na Sangre	0.1107255	0.041501
Peso	0.0551031	0.099995

Cuadro 7. Comportamiento estadístico de magnesio en el tiempo 6 de muestreo

FV	SC	Grados de libertad	F	P
Mg Pelo	0.967435	1	0.42	0.552
Mg sanguíneo	2.118251	1	1.052	0.363
Peso	24.88196	1	12.232	0.0173*
Error	10.1708	5		

Cuadro 7A. Estimadores del comportamiento de la concentración de magnesio en leche con respecto al peso de las yeguas

Variable Explicativa	Estimador	Error estándar
Ordenada al origen	46.044679	8.380568
Mg Pelo	0.0057772	0.005405
Mg Sangre	-0.190554	0.14469
Peso	-0.054011	0.017036