

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

**NUTRICIÓN DEL EQUINO EN CRECIMIENTO: ESTUDIO DE
REVISIÓN**

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

PRESENTA
OMAR URIEGA MONTÚFAR

ASESOR
MVZ Cert. MC. MARIANO HERNÁNDEZ GIL

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 por siempre haber estado en los momentos más felices y exitosos de mi vida; por su apoyo y comprensión en los más difíciles.

Este logro también es suyo, los quiero mucho.

A mi hermano porque como ya lo sabes yo fui el primero que quería que estuvieras aquí y desde que naciste siempre estuviste a mi lado, fuiste cómplice de mis aciertos y también de mis errores, compañero de juegos y ahora eres mi mejor amigo, te quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS

A mi padre, por ser mi guía y mi líder; por haberme dado tu amor, tus enseñanzas, tu consejo, tu tiempo y sobre todo por haberme dado todo lo que estuvo a tu alcance y lo que no, siempre hiciste lo imposible por dármelo; además, te agradezco haberme enseñado a valorar y aprender de cada momento sea bueno o malo, me enseñaste a luchar por mis ideales y por ser cada día el mejor y lograr todo lo que me proponga. Te quiero mucho papá.

A mi madre, por darme la vida, por el amor, tiempo, paciencia, motivación, sensibilidad, y porque no, también por tu complicidad; siempre estuviste conmigo inculcándome los valores que hoy me hacen un hombre de bien, responsable y honesto; también siempre me enseñaste que sea lo que sea a lo que me dedique, ser siempre el mejor. Te quiero mucho mamá.

A mi hermano porque siempre que necesite de ti ahí estuviste, porque juntos superamos los momentos más difíciles de nuestras vidas. Gracias por haber confiado en mí y por compartir conmigo tus problemas, siempre estaré aquí para ayudarte y guiarte. Te quiero.

A la familia García Montúfar porque siempre fueron un apoyo en mi vida y la de mi familia, desde niño hasta el día de hoy; siempre estuvieron en las buenas y en las malas. Los quiero mucho a los cuatro.

A Brenda Díaz porque a pesar de que te conocí al final de la carrera, sé que fue el mejor momento y el más indicado; tu amor, cariño, comprensión y hasta tus enojos me han servido para ser una mejor persona cada día; juntos hemos aprendido mucho y hemos vivido cosas divertidas, alegres, no tan alegres y difíciles que jamás olvidaré y espero tu tampoco lo hagas. Gracias por ser mi compañera, TE AMO

A mis mejores amigos de la FMVZ: Lázaro, Edgar, Max, Gaby, Tona, Heli y Raúl, porque con ustedes viví los momentos más divertidos de mi carrera; ustedes hicieron que los momentos más difíciles de estudio o de tensión, no lo fueran y por el contrario la pasamos muy bien juntos. Los quiero mucho y espero siempre sigamos juntos.

A Mariano Hernández Gil porque además de ser mi asesor y mi maestro, confiaste en mí y me brindaste tu amistad incondicional; gracias por haber confiado en mí para realizar este trabajo y por siempre darme consejos encaminados a ser mejor profesional y persona.

A la FMVZ-UNAM por haberme abierto sus puertas y haberme dado el conocimiento necesario para ser un profesional y enfrentar los retos que se me presenten cada día.

Al Programa Donkey Sanctuary – World Horse Welfare y sus integrantes por haberme dado la oportunidad de aprender, al mismo tiempo que ayudaba a los animales que más lo necesitan en las distintas comunidades rurales que visité. Además, gracias por hacerme más sensible del concepto de bienestar animal y de ahora en adelante buscar siempre defender y dignificar la labor de los équidos de trabajo en el campo.

A todos los compañeros y académicos de la FMVZ que participaron con algún consejo a lo largo de mis estudios, cada uno de ustedes contribuyeron a mi formación profesional.

A todos los miembros de mi familia que a lo largo de mi vida han contribuido en mi educación.

TABLA DE CONTENIDO

I. RESUMEN	1
II. INTRODUCCIÓN	3
III. REVISIÓN SISTEMÁTICA Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	9
3.1 Cambios morfológicos y funcionales del sistema digestivo equino durante el crecimiento	9
3.1.1. Cambios en dimensión y proporción	15
3.1.2. Desarrollo del sistema hidrolítico-enzimático	17
3.1.3. Colonización microbiana y desarrollo del sistema de fermentación postgástrica	18
3.2 Control del crecimiento	21
3.3 Nutrición para crecimiento	24
3.3.1. Distribución, metabolismo y utilización de nutrientes para crecimiento en útero	24
A) Distribución de nutrientes a través de membranas fetales	25
B) Metabolismo y utilización de nutrientes	27
3.3.2. Distribución, metabolismo y utilización de nutrientes para crecimiento extrauterino	29
A) Energía	29
B) Proteína y aminoácidos	30
C) Calcio	33
D) Fósforo	35
E) Magnesio	37
F) Sodio, potasio y cloro	38
G) Azufre	40
H) Cobre	40
I) Zinc	41
J) Hierro	42
K) Iodo	43
L) Manganeso	43
M) Selenio	44

N) Cobalto	45
N) Vitamina A	45
O) Vitamina D	45
P) Vitamina E	46
Q) Vitamina K	46
3.4. Producción equina	47
3.4.1. Sistemas de producción equina en México	47
A) Sistema intensivo	48
B) Sistema semi-intensivo	49
C) Sistema extensivo	49
3.4.2. Principales razas en México	51
3.4.3. Etapas del crecimiento en el equino	54
A) Neonato	55
B) De 3 meses	55
C) De 6 meses	56
D) De 12 meses	56
E) De 18 a 24 meses	56
F) Más de 24 meses	57
3.4.4. Parámetros productivos	57
A) Tasa de crecimiento	57
B) Talla corporal o alzada	62
C) Peso al nacimiento	63
D) Ganancia diaria de peso (GDP)	65
E) Peso adulto	66
3.4.4. Exterior y conformación	66
a) Exterior	66
B) Conformación	66
3.5. Requerimientos nutricionales	70
3.5.1 Nutrición de la yegua durante la gestación	70
A) Energía digestible para mantenimiento	70
B) Energía digestible para gestación	75
C) Energía digestible para lactación	77
D) Proteína cruda digestible para mantenimiento	81
E) Proteína cruda digestible para gestación	82

F) Proteína cruda digestible para lactación	84
G) Minerales y vitaminas	87
3.5.2. Requerimientos del equino en crecimiento	90
A) Energía digestible	90
B) Proteína cruda	94
C) Lisina	97
D) Calcio	98
E) Fósforo	100
F) Magnesio	103
G) Potasio	105
H) Sodio	107
I) Cloro	109
J) Microminerales	111
K) Vitamina A	112
L) Vitamina E	113
3.5.3 Consideraciones especiales del potro huérfano	115
3.6. Enfermedades comunes en potros por fallas nutricionales durante el crecimiento	120
3.6.1. Sistema músculo esquelético	120
A) Osteocondrosis	122
B) Fisitis	124
C) Desviaciones angulares	126
D) Colapso del hueso del tarso	127
E) Síndrome de Wobbler	128
F) Anormalidades vertebrales adquiridas	130
G) Contracción de tendones	131
3.6.2 Enfermedades Metabólicas	132
A) Hiperparatiroidismo nutricional secundario	132
B) Síndrome Metabólico Equino: obesidad y resistencia a la insulina	135
3.6.3. Enfermedades Conductuales	137
A) Intento de huída	140
B) Masticar madera o pica	141
C) Aerofagia	142

D) Masticado de cola o crin	142
E) Coprofagia	143
IV. Conclusión	144
V. Referencias	146
VI. Anexos	168
Anexo 1. Requerimientos nutricionales totales para potros en crecimiento cuyo peso promedio adulto de la raza es de 350 kg	168
Anexo 2. Requerimientos nutricionales totales para potros en crecimiento cuyo peso promedio adulto de la raza es de 400 kg	169
Anexo 3. Requerimientos nutricionales totales para potros en crecimiento cuyo peso promedio adulto de la raza es de 450 kg	170
Anexo 4. Requerimientos nutricionales totales para potros en crecimiento cuyo peso promedio adulto de la raza es de 500 kg	171
Anexo 5. Requerimientos nutricionales totales para potros en crecimiento cuyo peso promedio adulto de la raza es de 550 kg	172
Anexo 6. Requerimientos nutricionales totales para potros en crecimiento cuyo peso promedio adulto de la raza es de 600 kg	173
Anexo 7. Requerimientos nutricionales totales para potros en crecimiento cuyo peso promedio adulto de la raza es de 650 kg	174
Anexo 8. Requerimientos nutricionales totales para potros en crecimiento cuyo peso promedio adulto de la raza es de 700 kg	175

TABLA DE CUADROS

Cuadro 1. Peso adulto promedio, alzada promedio, tipo de sangre, origen y fin zootécnico de distintas razas ligeras de sangre tibia criadas en México.	52
Cuadro 2. Peso adulto promedio, alzada promedio, tipo de sangre, origen y fin zootécnico de distintas razas ligeras de sangre caliente y fría criadas en México.	53
Cuadro 3. Peso adulto promedio, alzada promedio, tipo de sangre, origen y fin zootécnico de distintas razas pesadas criadas en México.	53
Cuadro 4. Peso a edad, ganancia diaria de peso y porcentaje del peso adulto a edad en crecimiento normal para caballos con peso adulto promedio de 450 kg.	58
Cuadro 5. Peso a edad, ganancia diaria de peso y porcentaje del peso adulto a edad en crecimiento acelerado para caballos con peso adulto promedio de 450 kg	60
Cuadro 6. Peso al nacimiento, peso adulto y porcentaje del peso adulto de algunas razas.	64
Cuadro 7. Comparación entre requerimiento estimado de energía digestible para mantenimiento con tres ecuaciones diferentes y para tres pesos distintos.	73
Cuadro 8. Factores de ajuste de requerimientos de ED para mantenimiento en equinos dependiendo del tipo de caballo, función y nivel de actividad.	74
Cuadro 9. Factores para calcular requerimientos de energía digestible para gestación propuestos por cinco diferentes sistemas de alimentación de equinos.	76

Cuadro 10. Comparación de los requerimientos totales de energía digestible para lactación y su valor proporcional de los requerimientos de mantenimiento de acuerdo con tres sistemas de alimentación en yeguas de 450 kg de peso vivo.	80
Cuadro 11. Requerimiento de proteína cruda digestible (PCD) para mantenimiento en equinos de acuerdo con tres sistemas de alimentación.	81
Cuadro 12. Comparación de los requerimientos totales de PCD para gestación y su valor proporcional de los requerimientos de mantenimiento de yeguas de 450 kg de PV de acuerdo con cinco sistemas de alimentación.	83
Cuadro 13. Comparación de los requerimientos totales de PCD para lactación y su valor proporcional de los requerimientos de mantenimiento de acuerdo con tres sistemas de alimentación en yeguas de 450 kg de peso vivo.	86
Cuadro 14. Comparación de los requerimientos nutricionales totales de acuerdo con tres sistemas de alimentación para yeguas de 450 kg de peso vivo durante la gestación y lactación	87
Cuadro 15. Requerimientos (g, mg ó UI por kg de MS) de minerales y vitaminas para equinos en diferentes etapas del ciclo reproductivo.	88
Cuadro 16. Requerimientos de energía digestible para mantenimiento y crecimiento normal a edad, peso y GDP distintos en caballos con peso adulto de 450 kg.	92
Cuadro 17. Requerimientos de energía digestible para mantenimiento y crecimiento acelerado a edad, peso y GDP distintos en caballos con peso adulto de 450 kg.	93
Cuadro 18. Requerimientos (g) de proteína cruda para mantenimiento y crecimiento normal a edad, peso y ganancia diaria de peso distintos en caballos con peso vivo adulto de 450kg.	96

Cuadro 19. Requerimientos (g) de proteína cruda para mantenimiento y crecimiento acelerado a edad, peso y ganancia diaria de peso distintos en caballos con peso vivo adulto promedio de 450 kg.	97
Cuadro 20. Requerimientos (g) de calcio para mantenimiento y crecimiento normal a edad, peso y ganancia diaria de peso distintos en caballos con peso vivo adulto promedio de 450 kg.	99
Cuadro 21. Requerimientos (g) de calcio para mantenimiento y crecimiento acelerado a edad, peso y ganancia diaria de peso distintos en caballos con peso vivo adulto promedio de 450 kg.	100
Cuadro 22. Requerimientos (g) de fósforo para mantenimiento y crecimiento normal a edad, peso y ganancia diaria de peso distintos en caballos con peso vivo adulto promedio de 450 kg.	101
Cuadro 23. Requerimientos (g) de fósforo para mantenimiento y crecimiento acelerado a edad, peso y ganancia diaria de peso distintos en caballos con peso vivo adulto promedio de 450 kg.	102
Cuadro 24. Requerimientos (g) de magnesio para mantenimiento y crecimiento normal a edad, peso y ganancia diaria de peso distintos en caballos con peso vivo adulto promedio de 450 kg.	104
Cuadro 25. Requerimientos (g) de magnesio para mantenimiento y crecimiento acelerado a edad, peso y ganancia diaria de peso distintos en caballos con peso vivo adulto promedio de 450 kg.	105
Cuadro 26. Requerimientos (g) de potasio para mantenimiento y crecimiento normal a edad, peso y ganancia diaria de peso distintos en caballos con peso vivo adulto promedio de 450 kg.	106
Cuadro 27. Requerimientos (g) de potasio para mantenimiento y crecimiento acelerado a edad, peso y ganancia diaria de peso distintos en caballos con peso vivo adulto promedio de 450 kg.	107
Cuadro 28. Requerimientos (g) de sodio para mantenimiento y crecimiento normal a edad, peso y ganancia diaria de peso distintos en caballos con peso vivo adulto promedio de 450 kg.	108

Cuadro 29. Requerimientos (g) de sodio para mantenimiento y crecimiento acelerado a edad, peso y ganancia diaria de peso distintos en caballos con peso vivo adulto promedio de 450 kg.	109
Cuadro 30. Requerimientos (g) de cloro para mantenimiento y crecimiento normal a edad, peso y ganancia diaria de peso distintos en caballos con peso vivo adulto promedio de 450 kg.	110
Cuadro 31. Requerimientos (g) de cloro para mantenimiento y crecimiento acelerado a edad, peso y ganancia diaria de peso distintos en caballos con peso vivo adulto promedio de 450 kg.	111
Cuadro 32. Requerimientos (mg) de microminerales por kg de materia seca para caballos en mantenimiento y crecimiento.	112
Cuadro 33. Recomendaciones diarias de vitaminas para potros y caballos con diferente actividad física por cada 100 kg de peso vivo.	114
Cuadro 34. Composición química de la leche de la yegua a distintos semanas posteriores al parto.	117
Cuadro 35. Edad promedio en la que se presentan frecuentemente algunas enfermedades musculo-esqueléticas durante el crecimiento y los principales sitios donde se localiza la lesión.	121
Cuadro 36. Factores que favorecen la presentación de osteocondrosis en equinos.	124
Cuadro 37. Causas más comunes que ocasionan la aparición de enfermedades músculo esqueléticas del desarrollo (DOD).	131

I. RESUMEN

URIEGA MONTÚFAR OMAR. Requerimientos nutricionales del equino en crecimiento. Asesor: MVZ. MC. Mariano Hernández Gil

El presente trabajo tiene como objetivo recopilar información reciente en torno a la nutrición del equino en crecimiento, involucrando conceptos y procedimiento actuales para el cálculo de los requerimientos nutricionales utilizando ecuaciones que han sido obtenidas a partir de estudios en otros países pero que pueden ser conciliadas y aplicados a los sistemas de producción equina en México. El documento inicia con una reseña de los cambios anatómicos y fisiológicos del sistema digestivo equino durante el crecimiento, desde su nacimiento hasta que llega a edad adulta. Posteriormente, se presentan los mecanismos que controlan el crecimiento y maduración de los tejidos corporales. También, se describe la distribución, el metabolismo y la utilización de nutrientes para el crecimiento fetal y el crecimiento posparto.

Se presenta una breve descripción de las características de los distintos sistemas de producción y alimentación, las razas más comunes y sus distintos parámetros productivos como son el peso al nacimiento, el peso adulto promedio, la ganancia diaria de peso, el ritmo de crecimiento, la conformación y la alzada; todos utilizados con la finalidad de evitar alteraciones fisiológicas de importancia clínica que comprometan el desempeño atlético de cada ejemplar.

Con toda esta base teórica, es posible presentar los métodos matemáticos más recientes para el cálculo de los requerimientos de energía, proteína, minerales y vitaminas de la yegua gestante y del equino en crecimiento normal y acelerado.

Finalmente, se hace una breve descripción de algunas de las patologías más comunes que se presentan como consecuencia de fallas en el manejo nutricional del caballo en crecimiento. Se presentan clasificadas de acuerdo a su origen en patologías musculoesqueléticas, metabólicas y conductuales; se explican las principales causas nutricionales que ocasionan su aparición comprometiendo el bienestar y el rendimiento atlético del caballo, significando cuantiosas sumas económicas por concepto de tratamientos correctivos o simplemente por el hecho de no haber alcanzado el máximo potencial genético que asegure un potro con un rendimiento óptimo para cualquiera que sea su fin zootécnico.

Palabras clave: *equinos, caballo en crecimiento, nutrición equinos, alimentación, requerimientos nutricionales, producción equina.*

II. INTRODUCCIÓN

El caballo fue domesticado hace aproximadamente 15,000 años. Sin embargo, apenas hace 6,000 años empezó a ser utilizado con fines de esparcimiento y transporte¹ en las estepas del actual territorio euro-asiático.² Aunque originalmente el caballo se domesticó para obtener carne y piel, la razón principal de mantenerlo fue aprovechar su velocidad ante la necesidad de controlar la dispersión de los rebaños durante las migraciones; cualidad que después se explotó como medio inigualable de locomoción para influir en la historia de la humanidad durante los siguientes cinco milenios.³ En la actualidad, la producción de caballos representa una actividad importante sobre todo porque en muchos países se utilizan con fines de trabajo, seguridad, deporte y esparcimiento, llegando a rendir ingresos económicos importantes a sus propietarios, usuarios, promotores y criadores.

México es un país importante productor de caballos, no solo por su población que lo coloca en tercer lugar mundial,⁴ sino también porque se tienen disciplinas ecuestres importantes como carreras, charrería, salto, resistencia, adiestramiento, entre otras que motivan la crianza de diversas razas y tipos en climas, sistemas de producción y recursos de alimentación distintos con resultados más o menos exitosos.

El éxito económico en la crianza de caballos requiere optimizar el crecimiento de las crías, sobre todo porque el único producto vendible es un ejemplar que contribuya al buen desempeño en la función zootécnica para la cual se selecciona;⁵ aunque, el desempeño atlético está determinado primeramente por el potencial genético, este puede ser arruinado ante el descuido de ciertos factores ambientales, entre los que la nutrición destaca como el más limitante pero también como el más fácilmente manipulable.^{6, 7, 8}

El equilibrio nutricional es indispensable para la eficiencia en el crecimiento, sobre todo en sistemas donde los equinos viven en condiciones distintas a su naturaleza o tienen exigencias mayores debido a la presión en potencial productivo originada de necesidades humanas.⁵ Esto es particularmente importante porque el mercado exige potros sanos a la venta lo más pronto posible, motivando a los criadores a intentar ajustes en la nutrición, que a menudo son solo desaciertos que llevan a problemas.

Los problemas debidos a desaciertos en la nutrición durante el crecimiento son comunes; la mayoría son de tipo músculo-esquelético, metabólico o conductual y están bien descritos en la literatura.^{6,8,9,10,11,12,13} No obstante, y a pesar de su frecuencia en los sistemas de crianza existentes en México, son escasos los trabajos científicos que tratan la nutrición durante el crecimiento, tanto para promover la producción de caballos competitivos, como para prevenir anomalías resultado de omisiones al hacer asignaciones alimenticias y combinarlas con prácticas de manejo ahora obsoletas.¹⁴

En el caballo en crecimiento los requerimientos nutricionales están determinados por la edad y ganancia diaria de peso (GDP),^{6, 8, 15} esta última resultado de la deposición diferencial de moléculas nutrientes en los tejidos del animal. De modo entonces que la nutrición durante el crecimiento se conduce con base en la información proporcionada por estos dos indicadores utilizados como parámetros productivos. La información en torno al crecimiento del caballo tiene como base trabajos realizados a finales del siglo XIX y principios del XX en Europa Occidental, así como en los publicados en la década de 1950 en Europa del Este y en la de 1960 en Estados Unidos de Norteamérica. Aquellos primeros estudios se enfocaron en cambios de peso corporal de acuerdo con edad, sexo, raza, fecha de parto y

condición corporal de la yegua al parto; ⁸ para que la influencia de los nutrientes sobre el peso corporal pasara a ser el principal objeto de estudio en investigaciones más recientes.

El crecimiento del caballo no inicia al nacimiento, sino más bien se extiende desde la fertilización del óvulo hasta los cinco años de vida; ¹⁶ de ahí la importancia de comprender la biología del desarrollo embrionario y conocer los eventos y nutrición durante la vida uterina ⁸ que determinan su futuro. ¹⁷ Aunque se sugiere que el desarrollo embrionario y crecimiento fetal no requieren nutrientes adicionales durante los primeros siete meses de gestación, es benéfico proporcionar una dieta bien equilibrada durante este tiempo, ⁶ sobre todo porque la diferenciación celular y maduración orgánica es determinante en el futuro del caballo.^{17,18} Los mayores requerimientos se relacionan principalmente con el aumento en la deposición a nivel tisular en el feto hacia los últimos cuatro meses de gestación, cuyo crecimiento se acelera de 0.08 a 0.33 kg./día. De hecho, durante los últimos cuatro meses de gestación el requerimiento de energía y proteína del feto se incrementa en un 80 y 90 por ciento del total, respectivamente.¹⁹

Al estudiar la nutrición del feto conviene por supuesto considerar que la placenta y el útero crecen y van cambiando en concentración química ²⁰ por su actividad metabólica tan elevada, al ser responsables de la transferencia de sustancias al feto y de la síntesis de nutrientes, hormonas y factores de crecimiento.²¹ Por tanto, la demanda de sustratos y oxígeno por estos tejidos es considerable ²² y cubrirla o no significa la diferencia entre producir un potro más o un caballo con buen futuro.¹⁷

El caballo es un animal precoz, capaz de ponerse de pie y galopar a escasas horas de haber nacido. ⁹ Para soportar estas actividades el potro debe nacer en buen

estado físico, pesar del 7 al 13 por ciento del peso adulto de su raza y tener reservas energéticas suficientes que repondrá conforme las utilice si dispone de un alimento con el contenido suficiente de nutrientes.²³ Puesto que el potro debe haber alcanzado el 45 % de su peso adulto al momento de ser destetado, la lactancia es una etapa especialmente importante en la producción de caballos tanto para la yegua reproductora, como para su cría.²⁴ Durante el periodo de lactación, los potros tendrán la tasa de crecimiento más rápida, aproximadamente 110kg del primer al tercer mes en la raza Pura Sangre Inglés.²⁴ Por eso es importante que la yegua reciba una alimentación adecuada durante este periodo para que produzca leche de calidad ya que esta será el principal alimento del potro durante la primera semana de vida y hasta los dos meses de edad;^{25,26,27,28} aunque en algunos casos la dependencia total de leche materna puede extenderse hasta los cinco meses de vida.⁶

En condiciones naturales el proceso de destete se da al año de vida;¹³ sin embargo, en la mayoría de los sistemas controlados de producción se realiza a los seis meses, sobre todo porque a este momento la producción de leche de la yegua ha decaído considerablemente²⁹ y el potro ya cubre sus requerimientos nutricionales casi por completo con el alimento sólido que consume de la pradera o comedero. Además, el destete a esta edad es conveniente para que la yegua entre a los últimos cuatro meses de gestación¹⁹ en posibilidades de dirigir nutrientes a las exigencias de crecimiento fetal del siguiente potro.

Después del destete, la nutrición del potro se conduce individualmente, es decir, sin considerar la nutrición de la yegua, pues ahora él dependerá totalmente de la provisión de alimento de buena calidad desde el punto de vista energético, proteico y mineral. Como se ha mencionado, el caballo es un animal de crecimiento rápido.

En condiciones normales la proporción del peso adulto de la raza deberá ser aproximadamente del 45 % al destete, 65 % a los dieciocho meses, 72 % a los veinticuatro meses y 95 % a los cuarenta y dos meses de edad.⁸ No obstante, la carga de nutrientes no debe elevarse demasiado o redundará en problemas del desarrollo.⁶

Afortunadamente, en la actualidad se dispone de información suficiente para manejar apropiadamente la dieta de los caballos en crecimiento. Entre los sistemas de alimentación con bases más sólidas se encuentran el americano, el francés, el alemán, el holandés y el escandinavo. Sus modelos han sido desarrollados a partir de datos generados en experimentos con condiciones, animales y alimentos distintos pero con posibilidades de alcanzar un grado de conciliación aceptable y aplicable a los diferentes sistemas de producción en México.³⁰ Aplicar sus conceptos y métodos recientes para la nutrición del caballo impactará en el bienestar animal, al tiempo que traerá beneficios importantes a los criadores y la producción ecuestre nacional; pues se producirán animales con mayor apego a lo que la ciencia ha demostrado útil para contribuir a que el caballo exprese su máximo desarrollo corporal que favorezca en la función zootécnica, sin que ello signifique arriesgarlo a padecer alteraciones músculo-esqueléticas y metabólicas que comprometen su futuro. Así mismo, el solo hecho de hacer correctamente la asignación de dietas en las diferentes etapas del crecimiento, disminuirá los costos mismos de producción por concepto de alimentación y los gastos futuros por concepto de tratamiento de anomalías del desarrollo, lo que se traducirá en mayor beneficio por potrero producido en tiempo ideal.

El médico veterinario especialista en equinos tiene el compromiso y la obligación de informar a los involucrados en la crianza, respecto a los beneficios posibles de

obtener si se toman en cuenta los conceptos nutricionales, parámetros productivos y métodos de alimentación y manejo que la ciencia ha demostrado como adecuados para orientar las estrategias para producir y desarrollar potros sanos. Por todo lo anterior y por el interés de contribuir a la producción ecuestre en México, el presente trabajo revisa, discute e integra conceptos recientes en torno a crecimiento del equino, así como los métodos apropiados para el cálculo de los requerimientos nutricionales en las diferentes etapas de este estado fisiológico de acuerdo con los parámetros productivos requeridos para la crianza exitosa de las razas equinas más comunes en México.

III. REVISIÓN SISTEMÁTICA Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

3.1 Cambios morfológicos y funcionales del aparato digestivo equino durante el crecimiento

El desarrollo y maduración del tracto gastrointestinal del equino abarca desde la vida uterina hasta poco antes que el animal alcance la edad adulta. La etapa uterina de la vida del equino se extiende hasta 340 días, tiempo durante el cual vive en un medio líquido en el que se vale de la placenta para obtener oxígeno, sustratos, hormonas y factores de crecimiento necesarios para su metabolismo, nutrición y desarrollo.^{31, 32}

Dada la variabilidad de la duración de la gestación en la yegua, cuyo rango va de 310 a 370 días en algunos casos, una yegua con una gestación usual de 315 días podría tener un potro a término a los 313 días, mientras que aquella con una gestación usual de 365 puede tener un potro prematuro a los 340 días. De acuerdo con Wilkins 2004,³³ la premadurez en equinos se define como un nacimiento antes de término o a menos de 320 días de gestación. Los potros que nacen a término pero que son pequeños se les llaman inmaduros; un potro posmaduro es un potro que ha nacido a término, que tiene un eje esquelético axial normal pero que es muy delgado o incluso está emaciado. Los potros inmaduros han sido clasificados en el pasado como pequeños para su edad gestacional y se cree que han sufrido insuficiencia placentaria, mientras que los potros postmaduros son a menudo potros normales que han sido retenidos por mucho tiempo en el útero, posiblemente debido a la ausencia anormal de la señal para que desencadene el parto y han sobre pasado la capacidad de la envejecida placenta que los mantiene. Conforme

aumenta el tiempo que son retenidos, los potros postmaduros suelen ser más anormales, también pueden sufrir de insuficiencia placentaria.³³

El sistema gastrointestinal se desarrolla y crece desde la vida uterina; sin embargo, el periodo donde ocurre el mayor crecimiento es después del nacimiento, probablemente asociado al inicio de la alimentación enteral.³⁴

El consumo de alimento inicia la liberación de hormonas, neuropéptidos y enzimas que tienen efecto trófico sobre el desarrollo intestinal, siendo la presencia de estas sustancias vitales para la adaptación intestinal después del nacimiento. Además, estas juegan un papel determinante en lo que respecta al balance hídrico y electrolítico.³⁴

Inmediatamente después del parto, el potro experimenta cambios radicales en su ambiente, desafiando su supervivencia; para lo cual, necesitará iniciar mecanismos fisiológicos capaces de adaptar su organismo al nuevo ambiente que lo rodea;^{35, 36} por ejemplo, ahora deberá ser capaz de captar oxígeno por sus propios pulmones en los primeros minutos de vida y obtener nutrientes a través de su sistema digestivo, para lo cual debe ser capaz de ponerse en pie y comenzar a ingerir calostro dentro de la primera hora de vida; un proceso que le exige cambios anatómicos y fisiológicos dentro del tracto gastrointestinal, así como el desarrollo y maduración de los diferentes órganos que lo forman. Estos cambios conducen a una adaptación funcional del intestino a distintos procesos fermentativos y de absorción de nutrientes que será determinante en la nutrición del animal durante su crecimiento y a lo largo de toda su vida.³⁴

La característica placenta epitelio-coriónica de la yegua impide la transferencia de inmunoglobulinas y otros factores inmunes de la madre hacia el feto durante la

gestación; por tal motivo, el potro nace sin anticuerpos circulantes (agamaglobulinemia), siendo entonces inmunológicamente incompetentes y dependientes de la ingestión de calostro para obtenerlos.^{35, 36}

Los anticuerpos presentes en el calostro están principalmente en forma de IgG y pequeñas cantidades de IgA e IgM, así como las sustancias protectoras complemento y lactoferrina. Estos niveles de anticuerpos en la leche de la yegua declinan en las primeras 24 horas posparto.³⁷ El potro absorbe las inmunoglobulinas por células especializadas que están a lo largo del intestino delgado, pasando por pinocitosis hacia la vía linfática y luego a la circulación sistémica. La mayor eficiencia de este proceso es durante las primeras ocho horas de vida y declina rápidamente dentro de las 24 horas posteriores, conforme las células epiteliales especializadas son reemplazadas por células epiteliales maduras “cerradas”; por ello es importante que el calostro de mejor calidad sea ingerido en las primeras horas.^{36, 37}

Se ha reportado una estrecha correlación entre los niveles séricos de globulinas totales y los de IgG, lo que puede ser una guía adicional para evaluar la adecuada transferencia de inmunidad. De modo que si no se cuenta con la facilidad de estimar la concentración de IgG en suero, bastará enviar la muestra para una química sanguínea y conocer los niveles totales de globulinas séricas los cuales deben de estar alrededor de los 6 g/l en un potro de 24 horas de edad.³⁶

La velocidad de maduración del tracto gastrointestinal desde cualquier punto de vista está determinada por el código genético del animal, el reloj biológico, los mecanismos endógenos de regulación y los factores ambientales.³⁴

El tracto gastrointestinal y sus glándulas accesorias deberán tener la capacidad de secretar saliva, ácido gástrico, enzimas hidrolíticas, enzimas glucolíticas y bilis. Mientras que, el estómago y la mucosa intestinal deberán desempeñar adecuadamente sus funciones de absorción y protección.³⁴

Algunos cambios estructurales, celulares y de diferenciación funcional son influenciados por glucocorticoides. Estos glucocorticoides regulan el funcionamiento adecuado de algunas sustancias como el ácido gástrico, la gastrina y las hidrolasas como la quimosina, la pepsina, la amilasa, la lactasa y la aminopeptidasa. Adicionalmente, el desarrollo del aparato digestivo también está determinado por distintos factores de crecimiento, hormonas y otros nutrientes contenidos en el líquido amniótico y calostro; por lo que, la ingestión de este líquido ha demostrado favorecer el crecimiento de tejidos, la absorción de macromoléculas e inmunoglobulinas, la diferenciación de enterocitos, la renovación celular y la actividad hidrolítica intestinal.³⁴

Las adaptaciones funcionales y estructurales dentro del aparato digestivo del neonato están diseñadas para llevar a cabo la transferencia de la inmunidad pasiva, mediante la supresión de la actividad proteolítica intestinal y la absorción de macromoléculas.³⁴

El cortisol participa en muchos procesos bioquímicos dentro del organismo de cualquier individuo; siendo una, la distribución de ciertas moléculas como la glucosa para ser transportada hacia la placenta, reduciendo así, la síntesis de prostaglandinas dentro de este tejido.³⁸ Este proceso, aumenta la capacidad glucogénica del feto durante los últimos meses de gestación.³⁹

El cortisol juega un papel importante en la maduración del tracto gastrointestinal; en el equino, los niveles de cortisol sanguíneo se incrementan más durante los últimos meses de gestación.³⁴

El cortisol participa en la maduración de las células β del páncreas durante los últimos meses de gestación y los primeros días de vida, incrementando las concentraciones de glucógeno hepático y de glucosa 6-fosfato.³⁸

Dado que el potro es capaz de sobrevivir con sus reservas energéticas solo las primeras 24 horas de vida, Ousey *et al*, determinaron que el consumo inmediato de leche materna como fuente energética asegura la supervivencia sin complicaciones posteriores. Sin embargo, de no tener acceso a esta fuente de alimentación, el neonato empezará a utilizar la energía almacenada en el hígado y el glucógeno presente en el músculo. Además, estas reservas hepáticas y musculares de glucógeno proporcionan energía por menos de una hora; de tal forma que, para las siguientes 2-4 horas de vida es necesario iniciar el catabolismo del tejido adiposo.⁴⁰

La leche materna es rica en nutrientes, además, contiene factores de crecimiento que actúan favoreciendo el crecimiento y desarrollo del tracto gastrointestinal en, por lo que resulta conveniente el consumo de calostro lo antes posible. Además, la leche contiene otras sustancias como el cortisol, la insulina, las hormonas tiroideas, los factores de crecimiento parecidos a la insulina (IGF's), factores epidermales de crecimiento (EGF), lisozimas y lactoferrinas importantes en la maduración de enterocitos activando los mecanismos de protección contra infecciones y otras alteraciones.⁴¹

La producción de gastrina inicia desde el primer día hasta los 30 días de edad, siempre y cuando existan condiciones nutricionales óptimas, disminuyendo el pH

gástrico; siendo este, de 4.1 y 2.6 en el neonato y el adulto, respectivamente.^{42, 43} Además, la síntesis de gastrina estimula la liberación de pepsinógeno y ácido clorhídrico.³⁴

Inmediatamente después del parto, el consumo de calostro impide la síntesis de gastrina; de tal forma que, la secreción de ácido clorhídrico y pepsinógeno están limitados. Debido al estado líquido del calostro, ocurre un vaciamiento gástrico acelerado reduciendo la producción de ácido gástrico y pepsinógeno, favoreciendo el tránsito rápido de las inmunoglobulinas a través del estómago hacia el intestino delgado para ahí ser absorbidas intactas.³⁴

3.1.1 Cambios en dimensión y proporción

Los cambios fisiológicos en el tracto gastrointestinal (TGI) antes mencionados resultan indudablemente en un incremento en longitud y volumen de todos los segmentos que componen el aparato digestivo del caballo.³⁴

En 1988 se realizó un trabajo para medir la longitud del intestino delgado, ciego y colon; de fetos, neonatos, potros en crecimiento y caballos adultos. El rango de edades en la cual se agruparon las muestras fueron animales desde los 150 días de gestación hasta animales de 35 años; la muestra total de 130 animales de distintas razas fue procesada a un análisis expresando los resultados como un porcentaje en relación a la longitud total de cada segmento evaluado.⁴⁴

La longitud total del tracto se incrementa desde la mitad de la gestación hasta el primer año de vida; siendo, de 2.5 metros a los 150 días de gestación hasta 29.7 metros a los 16 años de edad. El crecimiento del intestino delgado inicia desde la gestación y continúa hasta las 4 semanas de vida. Además, se observó que el

periodo de crecimiento máximo se da inmediatamente después del nacimiento hasta los 16 días de edad; para después, entre los 2 y 6 meses de edad disminuir su crecimiento gradualmente; mientras que el crecimiento del intestino grueso ocurre en este tiempo. ⁴⁴

El ritmo de crecimiento del ciego es de 0.08 metros a los 150 días de gestación y hasta 1.1 metros en caballos de 18 años; siendo el periodo de crecimiento acelerado del 1° al 6° mes de vida. ⁴⁴

El colon ascendente tiene una longitud de 0.2 metros a los 160 días de gestación y crece notablemente desde el 1° al 6° mes de vida hasta alcanzar los 3.8 metros de longitud a los 18 años de vida. Mientras que, el colon descendente incrementa su longitud de 0.32 metros a los 160 días de gestación hasta los 3.3 metros a los 11 años de vida. ⁴⁴

Finalmente, el periodo de crecimiento intestinal más acelerado ocurre en el intestino delgado, resultado del aumento en el consumo de alimento desde la 1ª hasta la 4ª semana de edad, hecho que corresponde con el periodo de crecimiento más rápido del potro, duplicando su peso de nacimiento. ^{45, 46}

De igual forma que ocurren cambios morfológicos en el TGI, otras estructuras como las criptas intestinales, los vasos sanguíneos y los nervios, además de sustancias como la bilis también lo hacen. ⁴⁷

Los potros inicia el consumo de alimento sólido incluso antes del mes de vida; de tal forma que, durante los primeros meses de vida el tiempo dedicado al consumo de forraje es mínimo, para después incrementar el tiempo de consumo en un 20 y 50 por ciento hasta llegar a un 60% a los 10 meses de edad. ⁴⁸

En resumen, el crecimiento intestinal máximo ocurre durante el 1° y hasta el 6° mes de vida, correspondiendo con el periodo donde el potro necesita incrementar el consumo de alimento para soportar la demanda de nutrientes necesarios para el crecimiento y maduración de tejidos.

3.1.2 Desarrollo del sistema hidrolítico – enzimático

Durante el crecimiento del caballo existen cambios importantes en la cantidad de enzimas responsables de la digestión de las moléculas nutrientes consumidas por el animal a lo largo de toda su vida. ³⁴

Las enzimas responsables de la digestión se localizan en las vellosidades intestinales desempeñando funciones hidrolíticas sobre sustancias como la lactosa descomponiéndola en moléculas más simples como la glucosa y la galactosa, fácilmente absorbibles para el intestino. Además, existen otras dos enzimas que participan en el proceso hidrolítico de las proteínas, la β -galactosidasa neutra que tiene un pH óptimo entre 5.5 y 6.0 , ⁴⁹ y la β -galactosidasa ácida que está presente al nacimiento en la mucosa intestinal, particularmente en el yeyuno e íleon. Ambas enzimas tiene un pico máximo de producción al nacimiento, para después disminuir su concentración gradualmente durante los primeros tres años de vida hasta ser indetectables en caballos adultos. ³⁴

La lactasa es la principal enzima hidrolítica hasta los tres meses de edad; tiempo suficiente para que inicie su participación enzimática la maltasa, para posteriormente, entre los 3-6 meses de edad junto con la amilasa alcanzar niveles máximos. ³⁴

3.1.3 Colonización microbiana y desarrollo del sistema de fermentación postgástrica

En condiciones normales, toma de 2-3 meses para que la ecología microbiana gastrointestinal del neonato alcance la población de un caballo adulto capaz de digerir carbohidratos estructurales.³⁶

Dado que, el feto se desarrolla en un ambiente uterino estéril, el tracto gastrointestinal del recién nacido nunca ha estado en contacto con algún tipo de microorganismo. Sin embargo, el inicio de la colonización microbiana ocurre desde el momento del parto, gracias al contacto del neonato con su madre.³⁴

El primer microorganismo ácido láctico en colonizar el tracto gastrointestinal de los animales domésticos es el *Lactobacillus*.⁵⁰ Sin embargo, un estudio realizado en el 2000, determinó la existencia de una capa de *Lactobacillus* en la porción no secretora del estómago del caballo;⁵¹ sugiriendo que este microorganismo tiene la capacidad de colonizar y adherirse al epitelio gástrico inmediatamente después del parto.³⁴

La interacción huésped-microorganismo explica la existencia de mecanismos preventivos contra agentes patógenos oportunistas e infecciosos capaces de colonizar la mucosa intestinal durante los primeros días de vida.³⁴

A pesar de que, existen muchos microorganismos capaces de entrar transitoriamente al tracto gastrointestinal, la presencia de factores externos e internos limita su capacidad de multiplicarse.

La mayoría de los coliformes presentes en el TGI en potros de 3, 7, 14, 30 y 60 días de edad son *Escherichia coli*. Sin embargo, la toxina α de *Clostridium perfringens*

causante de diarrea en equinos, también ha sido detectada en altas concentraciones durante los primeros días de vida.³⁴

En tanto el neonato continúe expuesto al medio ambiente, la población microbiana seguirá ingresando principalmente por la boca; por ejemplo, la leche contiene hasta 10^9 microbios/L; ⁵² siendo, los principales microorganismos: *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Corynebacteria*, *Lactobacillus*, *Propionibacteria* y *Bifidobacteria*.⁵³

Los microorganismos que entran al neonato a través del consumo de leche son altamente capaces de multiplicarse y colonizar el intestino, comparado con aquellos que lo hacen en el caballo adulto. Algunos de los factores externos que regulan la colonización y la permanencia microbiana dentro del TGI del potro son: la carga microbiana presente en el medio ambiente, el tipo de alimento, la forma de alimentación, la carga microbiana materna, entre otros.³⁴

Tal como se ha mencionado, el crecimiento del intestino grueso es acelerado a partir del 6° mes de vida, coincide con el periodo de mayor colonización bacteriana y el inicio de la fermentación microbiana.³⁴

El inicio de la fermentación bacteriana obedece al incremento en el consumo de carbohidratos estructurales altamente fermentables; por lo que, necesita tener microorganismos anaerobios suficientes y bien establecidos capaces de fermentar las moléculas nutrientes para que puedan ser utilizadas eficientemente por el animal. Algunos ejemplos de estos microorganismos son: *Ruminococcus albus*, *Fibrobacter succinogenes* y *Butyrivibrio fibrisolvens*.³⁴

Generalmente, el neonato cumpliendo con su comportamiento trófico frecuentemente consume heces de su madre, hecho que favorece la inoculación directa de otros microorganismos dentro del tracto digestivo.³⁴

El periodo conocido como destete en términos de adaptación, colonización y fermentación microbiana es crítico, es a este tiempo donde el tránsito intestinal se modifica disminuyendo resultado del incremento en el consumo de alimento sólido dejando de lado la leche materna.³⁴

Por otro lado, el tiempo de vaciamiento gástrico aumenta pues ahora la digesta pasará más tiempo dentro del ciego y el colon, llevando a cabo el proceso de fermentación microbiana junto con la reabsorción del exceso de secreciones intestinales que fueron necesarias para la digestión.⁵⁴

Tal como existen factores externos que regulan la microbiota intestinal, también existen factores fisicoquímicos dentro del intestino que favorecen o perjudican la supervivencia de estos microorganismos, algunos de estos son: el pH intestinal, las interacciones microbianas existentes, la temperatura corporal, los movimientos peristálticos, las secreciones propias del intestino, la actividad inmune existente, la presencia de fármacos y la cantidad de receptores bacterianos presentes en la mucosa.⁵⁵

El objetivo principal de la fermentación postgástrica es la obtención de nutrientes esenciales a partir de moléculas complejas incapaces de ser digeridas en el intestino delgado; un ejemplo de esto son los ácidos graso volátiles sintetizados por los microorganismos y utilizados por el caballo como fuente energética.³⁴

A pesar de que la eficiencia, la actividad y la concentración de ácidos grasos volátiles (AGV's) en animales jóvenes es similar a la de los adultos, no significa que el volumen o la población microbiana presente en el intestino de un animal adulto sea comparable con la de otro en crecimiento.³⁴

De igual forma que las características fisicoquímicas y ecológicas estimulan el crecimiento y la función del ciego, los movimientos peristálticos determinados por las características particulares de cada alimento, también lo hacen. Así que, el consumo de alimento de excelente calidad durante el crecimiento, mejora la capacidad de desarrollar un órgano capaz de digerir eficientemente cualquier alimento, alcanzando un nivel de homeostasis nutricional durante toda la vida.³⁴

3.2 Control del crecimiento

El crecimiento y desarrollo del potro está determinado, primeramente, por su potencial genético y segundo por el efecto del medio ambiente; siendo un factor ambiental importante a considerar la capacidad de consumir nutrientes esenciales para el desempeño de sus funciones vitales más los necesarios para la formación y maduración de los tejidos corporales.^{6, 56}

Al hablar de potencial genético, resulta conveniente considerar ciertas características como son: la edad, la raza, el fin zootécnico, entre otros. Mientras que en el rubro ambiental, será importante asegurar el consumo de nutrientes que cubran los requerimientos de mantenimiento más los de crecimiento, actividad física, reproductiva, entre otros.⁵⁶

Inicialmente, las hormonas y otras sustancias ejercen efecto sobre el crecimiento y maduración de los distintos tejidos corporales. La eficiencia en crecimiento, depende de la disponibilidad de moléculas nutrientes suficientes para desempeñar distintas actividades como la diferenciación, función, multiplicación y crecimiento celular. Tales moléculas, pueden ser suministradas directamente a través del alimento o sintetizarse a partir de otras mediante procesos bioquímicos celulares.⁵⁶

La glucosa e insulina presente en la sangre son las responsables de activar el eje somatotrópico, encargado de desempeñar funciones endocrinas promoviendo el crecimiento y maduración de tejidos a través de la liberación de dos hormonas: la hormona del crecimiento (GH) y el factor de crecimiento parecido a la insulina tipo I (IGF-I).⁵⁶

La GH es necesaria para el crecimiento normal de tejidos, antes y después del nacimiento; además, ejerce efecto sobre el crecimiento óseo. Los efectos metabólicos de la hormona del crecimiento son: ⁵⁶

1) La utilización eficiente de las grasas estimulando a los adipocitos para llevar a cabo el proceso de descomposición de los triglicéridos y así interrumpir la absorción de las grasas circulantes.

2) El anabolismo proteico responsable de la constante formación de tejido muscular.

Además, la GH controla los niveles sanguíneos de glucosa a través de su efecto anti-insulina, el cual suprime su absorción dentro de los distintos tejidos dando lugar a la glucogénesis.

La función principal del IGF-I durante el crecimiento es la de estimular la síntesis proteica de cualquier tejido. De tal forma que, ambas hormonas son responsables de la deposición de moléculas nutrientes dentro del tejido muscular. Al mismo tiempo que, la IGF-I estimula la proliferación de condrocitos y la GH se encarga de su diferenciación. ⁵⁶

La somatostatina se encarga de inhibir los efectos de la hormona del crecimiento en respuesta a concentraciones bajas de glucosa sanguínea; dando como resultado, que la GH tenga una retroalimentación negativa sobre IGF-I. Por lo que, niveles sanguíneos elevados de IGF-I conducen a una disminución en la secreción de GH no solo en respuesta a la supresión del somatotropo, sino también, por la liberación de somatostatina dentro del hipotálamo. ⁵⁶

Durante el crecimiento, el consumo de carbohidratos altamente hidrolizables ocasiona incremento en los niveles de glucosa e insulina sanguínea; esto es,

cuando la glucosa aumenta, la insulina también lo hace para llevar la glucosa a niveles basales.⁵⁶

Por otro lado, concentraciones sanguíneas bajas de glucosa estimulan la hormona del crecimiento y esta a su vez estimula a la IGF-I; así que, si la cantidad de IGF-I y GH sobre pasa los niveles basales, podría resultar en la sobreproducción de cartílago y así favorecer la presentación de osteocondrosis.⁵⁶

3.3 Nutrición para crecimiento

3.3.1 Distribución, metabolismo y utilización de nutrientes para crecimiento en útero

El crecimiento exitoso del feto depende del suministro adecuado de nutrientes capaces de suministrar el combustible necesario para llevar a cabo la síntesis de nuevos tejidos. De tal forma que, la exposición del feto a condiciones carentes de nutrientes resultaría en un crecimiento deficiente y malformaciones como consecuencia de la insuficiente disponibilidad de moléculas nutrientes necesarias para ser fijadas en los tejidos; algunas de las cuales, nunca serán compensadas nuevamente a pesar de ser corregidas posteriormente.

En los mamíferos, el aporte de nutrientes al feto depende exclusivamente de la disponibilidad de nutrientes transportados a través de la placenta. Así que, la nutrición fetal depende de la nutrición materna y de la eficiencia con la que estos nutrientes son transportados hacia el feto.⁵⁷

Inmediatamente después de la fertilización, el huevo o cigoto se encuentra en un medio libre y comienza a absorber nutrientes directamente de los líquidos circulantes. Posteriormente, durante la implantación la presencia de las membranas fetales habilita la transferencia de nutrientes provenientes de la madre a través de la placenta.⁵⁷

El crecimiento fetal en el caballo es relativamente lento durante los primeros ocho meses de gestación; siendo hasta el tercer trimestre de gestación cuando el 60 por ciento del crecimiento total se lleva a cabo, motivo por el cual el peso fetal se incrementa considerablemente al término de la gestación.^{58, 59} Esto es, para un

potro de 50 kg de peso, la ganancia diaria de peso *in utero* será tan solo 0.08 kg/día durante el primer y segundo trimestre de gestación; para después incrementarse a 0.33 kg/día o más durante el último tercio. ⁸

A) Distribución de nutrientes a través membranas fetales

La placenta es el tejido que une al feto con su madre y cumple con el propósito de transportar nutrientes siendo capaz de transferir gases y metabolitos hacia el feto y sintetizar hormonas. La transferencia de nutrientes a través de la placenta depende de algunos factores como: ⁶⁰

- 1) El flujo sanguíneo existente en el útero y el cordón umbilical.
- 2) La permeabilidad placentaria y la concentración a los distintos sustratos disponibles en la sangre.

La transferencia de sustratos a través de la membrana ocurre mediante distintos mecanismos. La difusión simple es el transporte de moléculas nutrientes regulado por el gradiente de concentración existente en las células; este mecanismo de acción no implica ningún gasto energético. Algunos de los sustratos transferidos de esta forma son el lactato, la urea y el acetato. Los gases sanguíneos (O_2 y CO_2) son transportados a través de la placenta mediante difusión, pero además, la transferencia de oxígeno al feto es favorecida por la afinidad existente entre el oxígeno y la hemoglobina fetal. ⁶¹

La difusión facilitada es otro mecanismo de transferencia que tampoco requiere algún gasto energético, pero requiere de otro tipo de moléculas que faciliten su transporte a través de las membranas fetales. ⁵⁷

La glucosa, el combustible fetal por excelencia, es transferida a través de la placenta por este mecanismo; estando regulado este, por la concentración existente de esta molécula en la sangre materna y fetal. Sin embargo, la insulina regula la transferencia de glucosa hacia la placenta, debido a la existencia de receptores a esta hormona en las membranas placentarias.⁶⁰

El transporte activo es otro mecanismo de transferencia de sustratos en contra del gradiente de concentración, por lo que si requiere un gasto energético. Los aminoácidos son transportados por esta vía; generalmente, la concentración de estos es mayor en la sangre fetal comparada con el de la materna.⁵⁷

Las macromoléculas como las proteínas, los triglicéridos, los fosfolípidos y el colesterol no pueden atravesar la placenta mediante los mecanismos de difusión simple de la madre hacia el feto. Sin embargo, las lipasas o proteasas maternas, capaces de hidrolizar estas macromoléculas en otras más simples, facilitan su transporte hacia las membranas fetales.⁵⁷

A parte de transportar sustratos, la placenta es un órgano metabólicamente activo que requiere distintas moléculas para la síntesis de energía y para su desarrollo. Se ha estimado que la placenta es capaz de utilizar hasta un 30% del oxígeno que pasa a través de ella.⁶²

B) Metabolismo y utilización de nutrientes

La glucosa es el sustrato de mayor importancia en el metabolismo fetal, aunque también puede ser metabolizado en el útero; la cantidad de glucosa que puede ser consumida por el feto durante la gestación cuenta en un 70% del total disponible en la madre. En el caballo, entre un 40 y un 50 por ciento de esta glucosa es utilizada

directamente por el feto, mientras que el resto es metabolizado en el útero. El feto utiliza este sustrato para la producción de energía, la síntesis de reservas energéticas y para la síntesis de nuevo tejido.⁵⁷

En todos los mamíferos, el feto es capaz de metabolizar la glucosa y almacenarla en forma de glucógeno durante los últimos meses de gestación. Los pulmones y el músculo cardíaco son los órganos que almacenan temporalmente este glucógeno al inicio de la gestación para más tarde ser movilizado al término de esta. Por otro lado, en el hígado y en el músculo esquelético, se incrementa la deposición de glucógeno durante toda la gestación para posteriormente, ser la reserva de esta molécula inmediatamente después del parto; esta capacidad de almacenamiento de glucógeno en la etapa fetal es regulada por distintas hormonas.⁵⁷

Los aminoácidos son capaces de atravesar la placenta hacia la circulación fetal, ser utilizados en la síntesis de tejidos y utilizarlos como combustible para la síntesis de energía. En el feto, la cantidad de aminoácidos transferidos es mayor de la que realmente es necesaria para satisfacer el ritmo de crecimiento; la oxidación de aminoácidos aporta de un 20 a 60 por ciento del total del oxígeno consumido por el feto.⁵⁷

A pesar de que, la yegua tiene una capacidad limitada de transferir macromoléculas hacia el feto, la mayor cantidad de estas presentes en el feto son sintetizadas por el mismo; por ejemplo, la cantidad de proteína que necesita es de 50 g/kg y 270 g/kg al inicio y término de la gestación, respectivamente.⁶³

La transferencia de vitaminas liposolubles es similar a la de los ácidos grasos; es decir, los niveles de estas moléculas son generalmente bajos. Por otro lado, las vitaminas hidrosolubles están presentes en mayor concentración en la circulación

fetal transferidas a través de mecanismos de transporte activo.; quizás esto, obedece a que estas últimas son necesarias en muchos procesos enzimáticos como co-factores. ⁵⁷

Aparentemente, es difícil la transferencia de minerales a través de la placenta; por lo que estos son transportados por mecanismo de transporte activo. Ciertamente, algunos minerales como el calcio, el fósforo y el hierro son necesarios en cantidades considerables para la síntesis de tejido óseo y la formación de hemoglobina; mientras que, otros minerales como el manganeso, el magnesio, el zinc y el cobre cumplen con funciones enzimáticas. ⁵⁷

3.3.2 Distribución, metabolismo y utilización de nutrientes para crecimiento extrauterino

A) Energía

A pesar de que la energía no se considera un nutriente *per se*; en equinos, se considera el más limitante. La primera forma de energía de un alimento es la energía bruta (EB). Cuando se descuenta la fracción de EB perdida en heces se obtiene el estimado de energía que permanece en el animal, conocido como energía digestible (ED). Parte de la ED se pierde como metano y CO₂ durante la fermentación en tracto gastrointestinal y con la orina, restando entonces la fracción de energía disponible al metabolismo llamada energía metabolizable (EM). Finalmente, parte de la EM se pierde con el incremento calórico, quedando la energía neta (EN) que es lo que el organismo utiliza para cubrir requerimientos de mantenimiento y cada propósito extra. Aunque lo ideal es conocer el requerimiento de EN para cada proceso dentro del equino, ello no es posible porque aun no han sido estimados con precisión los requerimientos de EN para cada proceso fisiológico

en el equino. Por tal motivo, puesto que la mayor cantidad de datos lo permiten, lo conveniente es trabajar con requerimientos de ED.⁵

La eficiencia en la utilización de energía está influenciada por la edad y por la cantidad de consumo; en el animal joven es utilizada principalmente para el crecimiento y maduración de tejido conectivo, muscular y adiposo, entre otros. Mientras que, en animales maduros la tasa de formación del tejido adiposo supera a la del tejido muscular, resultando en la acumulación excesiva e indeseable de grasa corporal.⁵

Al hablar de crecimiento, limitar el consumo de energía en animales jóvenes puede afectar su ritmo de crecimiento.^{64, 65} Por ello es importante, primero, considerar la relación que existe entre el consumo de energía y el crecimiento óseo, a medida que el consumo de energía aumenta, los requerimientos de los demás nutrientes necesarios para el crecimiento deben aumentar proporcionalmente, asegurando la disponibilidad de otros nutrientes necesarios para la deposición de la matriz extracelular y la mineralización del hueso. Segundo, el consumo excesivo de energía puede ocasionar alteraciones durante el desarrollo del esqueleto y tercero, las fuentes de donde es obtenida esta energía puede alterar los niveles hormonales causando también problemas musculo-esqueléticos; por ejemplo, el consumo excesivo de almidón causa estados de hiperglucemia, hiperinsulinemia y alteración de las concentraciones normales de triyodotironina (T₃) y tiroxina (T₄),^{66, 67, 68} estas últimas responsables del crecimiento y maduración de los condrocitos.

Los ácidos grasos también son una fuente de energía útil para el caballo,^{69, 70} permiten soportar las demandas energéticas bajo condiciones de crecimiento acelerado, así como favorecer la mineralización del hueso mediante la síntesis de IGF-I y prostaglandina E tipo 2 (PGE₂) acelerando el proceso de osteogénesis.⁷¹

B) Proteína y Aminoácidos

El potro neonato tiene una tasa metabólica muy elevada por lo que requiere una síntesis proteica acelerada. Los aminoácidos necesarios para la síntesis de proteínas se obtienen a partir de las proteínas de la leche materna; en ocasiones, es necesaria la suplementación de algunos aminoácidos esenciales (lisina, treonina, entre otros) para cubrir la demanda proteica requerida para el crecimiento y maduración de tejidos.⁵⁷

Las inmunoglobulinas contenidas en el calostro son las primeras proteínas en ser consumidas por el potro para ser absorbidas intactas a través de las células epiteliales del intestino delgado y activar el sistema inmune.

Por otro lado, la digestión proteica ocurre por efecto de algunas enzimas presentes en el tracto gastrointestinal como la tripsina, la pepsina, el pepsinógeno, entre otras. En consecuencia, los aminoácidos son absorbidos en el intestino delgado. Además algunas enzimas como las proteasas pancreáticas secretadas en el intestino delgado continúan la descomposición de las proteínas en moléculas más simples⁵⁷

La proteína consumida durante el crecimiento del caballo es utilizada para la formación de algunos tejidos como el muscular y el óseo. Además, la eficiencia en la utilización del nitrógeno absorbido depende de la fuente de aminoácidos y probablemente la edad del animal; de acuerdo con Hintz *et al*, esta eficiencia es del 45.5%.⁷²

La deposición tisular depende de la disponibilidad de concentraciones apropiadas de aminoácido. La cantidad de aminoácidos presentes en el músculo del caballo aún no está bien documentada y podría representar la clave del éxito en la

estimación de los requerimientos proteicos del caballo en crecimiento. Sin embargo, la digestión y la absorción de estos, así como la tasa de síntesis se consideran relevantes, cerca del 75% de los aminoácidos contenidos en la dieta son absorbidos en el intestino delgado; de tal forma que, una vez pasando esta porción no podrán ser absorbidos, incluso, los aminoácidos sintetizados por los microorganismos en el ciego no son aprovechados.⁷³

La importancia de la calidad de la proteína en el equino en crecimiento radica en el contenido y disponibilidad de aminoácidos.⁷³ De tal forma que, la lisina es el primer aminoácido limitante en el caballo, sugiriendo que el requerimiento de lisina para un caballo año es de 1.9 g/Mcal ED.⁷³

Finalmente, cubrir los requerimientos proteicos depende no solo de la concentración proteica de la ración, sino también, del contenido de aminoácidos. Por tal razón, es conveniente observar los requerimientos de proteína desde dos perspectivas; primero, cubrir el requerimiento diario de mantenimiento o las pérdidas de nitrógeno endógenas; y segundo, el requerimiento para la deposición de este nutriente en la formación de tejidos o simplemente el de crecimiento. También, existen dos factores que afectan la utilización de la proteína durante el crecimiento: la cantidad de energía consumida y la digestión y disponibilidad de aminoácidos a través del intestino delgado; es decir, si la energía es insuficiente, el animal no tendrá la capacidad de depositar la proteína en los distintos tejidos y viceversa.⁷³

C) Calcio

La mayor parte del calcio presente en el cuerpo está depositado en los huesos y dientes (99.8%).^{15, 74} Sin embargo, existen moléculas de calcio fuera del esqueleto

del animal presentes en las membranas celulares y circulando por el torrente sanguíneo.⁷⁵

El calcio es utilizado en la osificación de los huesos pero también participa en otros procesos como: la coagulación, contracción muscular, actividad enzimática relacionada con el metabolismo energético, los procesos digestivos y en la sinapsis de neuronas.^{76, 15}

El calcio es absorbido en un 50 por ciento en el intestino delgado; sin embargo en animales jóvenes la absorción es más eficiente alcanzando un 70%.^{77, 78, 79, 15} La homeostasis del calcio incluye una fracción ligada a proteínas, calcio ionizado y en menor proporción moléculas de calcio. La concentración de Ca en la sangre es la principal señal al sistema endócrino encargado de la movilización o absorción de calcio; así que, la disminución del Ca sérico consecuencia de su utilización, por ejemplo, durante episodios de ejercicio intenso, ocasiona un incremento en la secreción de la hormona paratiroidea (PTH, por sus siglas en inglés).⁷⁵

La contraparte de la PTH es la calcitonina, hormona que se activa en respuesta a un consumo excesivo de calcio. En otras especies, el papel de la calcitonina es inhibir la absorción intestinal del calcio, la movilización del Ca en los huesos y la reabsorción en el riñón; sin embargo, en el caballo el papel de la calcitonina no está bien documentado, debido al hecho de que el intestino equino no es sensible al consumo de calcio y a la cantidad de Vitamina D₃ en su forma activa (1, 25-dihidroxicolecalciferol) es baja en el caballo, por lo que se puede concluir que la calcitonina tiene un efecto casi nulo en el intestino del caballo.⁷⁵

Las pérdidas endógenas de calcio en el caballo han sido estimadas en 0.020 g/kg de peso vivo al día, sin embargo algunos estudios demostraron que en animales en

crecimiento, estas pérdidas son mayores siendo de 0.036 g/kg de peso vivo. Por otro lado, se estima que el equino en crecimiento deposita aproximadamente 16 g de calcio por cada kilogramo de ganancia de peso, con una absorción del 50%.^{75, 15}

El requerimiento de calcio particularmente en el caballo en entrenamiento físico tiende a incrementarse debido a que el ejercicio estimula el metabolismo del calcio en el tejido óseo por lo que debe ser considerado dependiendo de la intensidad de la actividad física. Esto es, un incremento adicional al de mantenimiento y al de crecimiento, siendo este de 0.06 g y 0.07 g de calcio por kilogramo de peso vivo en animales en ejercicio ligero e intenso, respectivamente.¹⁵

En resumen, estas interacciones entre el calcio y las hormonas que participan en la regulación de este nutriente, demuestran que el consumo excesivo de calcio debe ser estrictamente evaluado, sobretodo en el caballo en crecimiento donde una sobre dosificación puede resultar en cambios en el sistema hormonal que regula la movilización del calcio y ocasionar desbalances nutricionales.

D) Fósforo

Al igual que el calcio, el fósforo es un elemento constituyente del hueso del 14 al 17 %. Además, es un compuesto orgánico indispensable en numerosos procesos metabólicos de formación y reparación del hueso; así como molécula necesaria en el metabolismo energético del cuerpo siendo constituyente esencial de la molécula energética por excelencia, el adenosín trifosfato (ATP) y participando en la síntesis de ácidos nucleicos, fosfolípidos y fosfoproteínas.¹⁵

La absorción del fósforo es del 30 al 55 %¹⁵ y el sitio de absorción es el colon; además, ahí también puede llegar a secretarse cantidades importantes de este mineral. La diferencia entre el sitio donde este mineral se absorbe y donde lo hace

el calcio, explica el papel tan importante que juega la relación Ca: P en el caballo; sumado a que el fósforo es esencial para llevar a cabo la digestión microbiana.⁷⁵

Existe una similitud entre el mecanismo de regulación del calcio y fósforo, particularmente hablando del proceso de osteogénesis. Ambos minerales forman en mayor proporción el tejido óseo, están organizados bajo una estructura inorgánica única llamada hidroxiapatita con características de alta resistencia pero al mismo tiempo formando parte de un tejido vivo; esto significa, una constante síntesis y degradación de hueso propio de la biología natural de este tejido.

La absorción de fósforo puede verse afectada por diversos factores, entre los que destacan:^{15, 75}

- 1) Grandes cantidades de calcio en la dieta.
- 2) La presencia de este nutriente en forma de ácido fítico en las plantas

En consecuencia a la disminución en la absorción de este nutriente, en ocasiones, se adiciona a la ración fosfatos; sin embargo, cuando se utilizan simultáneamente fitasas para romper los enlaces del ácido fítico presente en algunos forrajes, por lo que esta práctica debe ser evitada ya que la cantidad de fósforo se incrementará y resultará en una alteración en la proporción calcio: fósforo.¹⁵

Normalmente, se estima que la absorción neta de este nutriente es del 35% para caballos adultos y de 45% para yeguas lactantes y potros en crecimiento; debido a que a menudo las dietas de estos últimos suelen ser complementadas con fuentes inorgánicas de este mineral.⁷⁵

Se ha estimado que las pérdidas endógenas de fósforo en el caballo adulto son de 0.01 g/kg de peso vivo al día; Mientras que en el potro en crecimiento estas pérdidas se estima son de 0.018 g/kg.¹⁵

La deposición de este mineral que un potro tiene durante su crecimiento se estima que es de 8 g/kg de peso ganado al día, con una absorción del 45 %.¹⁵

En el caballo al igual que en otras especies cubrir los requerimientos de calcio y fósforo es esencial; pero en segundo lugar, es importante considerar y evaluar la proporción entre estos nutrientes. Si el consumo de calcio es menor que el de fósforo, la absorción de calcio será deteriorada. Aún cuando el consumo de calcio sea el adecuado, un exceso en el aporte de fósforo en la dieta resultará en anomalías clínicas en el esqueleto.^{15, 75} Estos signos clínicos dependen del grado de desequilibrio en la relación Ca: P, el contenido de oxalatos de calcio en la dieta, la edad del animal, nivel de ejercicio y condiciones ambientales.⁸⁰ Sin embargo, proporcionar dietas con una relación calcio: fósforo 6: 1 pueden ser aceptables, especialmente si el consumo de fósforo es adecuado.⁸¹

E) Magnesio

La absorción neta del Mg a lo largo de todo el tracto gastrointestinal va del 40 al 60%^{82, 83} en el caballo adulto y del 70% en el potro;¹⁵ teniendo la mayor absorción en el intestino delgado, aunque una cantidad excesiva en el quimo intestinal ocasiona también la absorción en el intestino grueso.¹⁵

Aproximadamente el 60% del magnesio está almacenado en el esqueleto y el 32% en el tejido muscular.⁷⁴ En el hueso se encuentra asociado a la estructura inorgánica de sostén y su participación en los procesos de modelado y remodelado óseo ocurre de forma similar al calcio y fósforo. Además de ser almacenado en los huesos, el

magnesio está presente en el espacio intracelular, la mitocondria y en algunos sustratos como el adenosín trifosfato (ATP), el ácido ribonucleico (RNA) y el ácido desoxirribonucleico (DNA). Otros procesos metabólicos como la fosforilación oxidativa y la síntesis proteica necesitan de esta molécula nutriente, al ser el catión más abundante dentro de la célula. ⁷⁵

En el equino en crecimiento, una deficiencia tanto en la vida uterina como después del nacimiento es rara comparado con el caballo sometido a actividad física intensa. Sin embargo, es importante que el potro tenga disponible este mineral en la dieta al tener una interacción importante con el sistema inmune. A pesar de la información existente en torno a este mineral, es necesario continuar investigando el papel del magnesio en el caballo. ⁷⁵

F) Sodio, potasio y cloro

El cuerpo de cualquier mamífero está compuesto en su mayoría de agua teniendo como característica primordial mantener un equilibrio acido-base y una condición osmótica. Los electrolitos: sodio, potasio y cloro, no son exclusivamente responsables de este equilibrio pero si indispensables. ⁷⁵

El 51% del total del sodio en el cuerpo se encuentra en el esqueleto y el 75% del potasio está en el tejido muscular. ^{84, 85} Por otro lado, el cloro se encuentra distribuido en muchos tejidos en proporción del 10 al 15% del total presente en el cuerpo. ⁸⁶

El sodio y cloro son secretados en grandes cantidades en la porción prececal del tracto gastrointestinal; mientras que ambos tienen una absorción eficiente en el intestino grueso, teniendo una absorción neta de 95%. ^{78, 86} En contraste, el potasio es absorbido en el intestino delgado con una tasa neta de más del 50 %. ⁷⁵

La participación de estos elementos inicia desde la fertilización del óvulo, al necesitar condiciones favorables para la movilidad en el útero. La osmolaridad de los líquidos presentes en el oviducto y el útero dependen de estos electrolitos. Debido al incremento de este medio líquido como consecuencia del crecimiento fetal e incluso al crecimiento posparto, la cantidad de estos minerales aumenta considerablemente, pero no al mismo nivel que lo hacen el calcio y fósforo en su participación en la construcción del hueso.⁷⁵

La deposición de potasio en los tejidos durante el crecimiento se estima que es de 1.5 g/kg de GDP y el requerimiento de mantenimiento es de 0.6% de la dieta para potros de 6 a 12 meses y de 0.8% para potros de 12 a 24 meses de edad.¹⁵ Por otro lado, la deposición de sodio en el potro es de 0.85 g al día, con una absorción del 80 %.¹⁵

Los requerimientos del cloro aún no están bien determinados, por lo que se presume que si los requerimientos de sodio están cubiertos, los de cloro también lo estarán.¹⁵

La regulación eficiente de agua y electrolitos asegura un estado de hidratación adecuada para el mantenimiento y crecimiento de los tejidos corporales. La participación de estos electrolitos en algunos mecanismos de transporte; por ejemplo, la bomba Na-K y el transporte de glucosa son de vital importancia ya que sin su interacción en los diferentes niveles celulares el metabolismo energético no podría llevarse a cabo.⁷⁵

Una influencia importante de estos electrolitos en el crecimiento del potro es la alcalinización y acidificación, efecto de un exceso de cationes o aniones, respectivamente. La consecuencia de ser alterada la relación de cationes: aniones

en el pH está bien descrito y un ejemplo de esto es un estado de alcalosis, en donde disminuye la movilización de calcio óseo y estimula la síntesis de colágeno, causando osteopetrosis.⁸⁷

G) Azufre

El azufre forma parte de algunas moléculas como: aminoácidos, vitaminas del complejo B, heparina, insulina y el condroitín-sulfato; conformando el 0.15% del peso corporal. Sus requerimientos no están establecidos, pero diversos estudios han comprobado que dietas con proteína de alta calidad cubren los requerimientos de este nutriente.¹⁵

H) Cobre

El cobre es absorbido principalmente en el intestino delgado, teniendo una absorción del 40 al 50%; esta absorción puede ser mayor en el caballo joven que en el adulto. El cobre absorbido está unido a proteínas y es transportado hacia el hígado, lugar donde se lleva a cabo su metabolismo. La ceruloplasmina es la encargada de transportar el cobre hacia los distintos tejidos para más tarde ser incorporado a diversas enzimas y participar en algunos procesos metabólicos.⁷⁵

Diversos factores pueden afectar el metabolismo del cobre al interactuar con otros minerales como el molibdeno, el azufre, el zinc, el selenio, la plata, el cadmio, el hierro y el plomo.⁸⁸

Algunas de las funciones del cobre son la respiración celular al ser parte del citocromo oxidasa y de la síntesis de hemoglobina.^{89, 90} Además, el cobre participa en la síntesis ósea y de colágeno.⁷⁵

El cobre participa en distintas actividades del tejido nervioso. Así que, un signo clínico de deficiencia es la ataxia. También está involucrado en la protección contra los radicales libres a través de la enzima superoxidismutasa (SOD), pero un exceso de este mineral no está asociado con la capacidad de eliminar estos radicales libres. Esta misma enzima participa en la fagocitosis, así que este elemento también está ligado al sistema inmune.^{15, 75}

l) Zinc

La absorción de zinc ocurre principalmente en el intestino delgado, mientras que en el intestino grueso existe una secreción. La absorción total a lo largo de todo el tracto gastrointestinal depende de la fuente y de la cantidad ingerida, va del 10 al 25%.⁷⁵

La absorción de este mineral en el TGI está regulada por la metalotioneína, la cual es sensible a la presencia de zinc.⁷⁵ El zinc es transportado ligado a proteínas hacia el hígado para después ser liberado hacia tejidos extra-hepáticos; siendo el hígado y el páncreas los órganos con las concentraciones más altas.¹⁵

La función adecuada de los ácidos nucleicos depende del zinc y por esta razón este influye en el metabolismo celular de todos los tejidos corporales. Algunas funciones del zinc tienen que ver con el crecimiento de tejidos pero también con la síntesis de sustancias que lo regulan como las hormonas y las inmunoglobulinas.⁷⁵

Además, el zinc tiene influencia sobre las propiedades de unión de los factores de crecimiento parecidos a la insulina (IGF-I y IGF-II) a los receptores; siendo esto esencial para la diferenciación celular durante el crecimiento de cualquier tejido. En consecuencia, ritmos de crecimiento acelerados tal como en los últimos meses de

gestación, sugieren el incremento en el requerimiento de este nutriente para lo cual la yegua tiene que cubrir esta demanda debido al crecimiento intrauterino a parte de la cantidad necesaria para la acumulación en el hígado. ⁷⁵

J) Hierro

La absorción prececal de hierro es de alrededor del 42 al 71%, ⁷⁴ esta proporción de absorción está influenciada por el ingrediente que lo contiene y por el nivel de hierro presente en el caballo. La absorción de este nutriente puede explicarse sencillamente como una válvula de regulación; es decir, si el hierro presente en el cuerpo es alto esta se mantiene cerrada, pero si disminuye el nivel de hierro esta se abre automáticamente e incrementa la absorción. El hierro es convertido dentro de la mucosa intestinal en ferritina y es oxidado después de entrar al torrente sanguíneo formando los complejos de transferrina para ser distribuido a todos los tejidos. ⁷⁵

El hierro es utilizado continuamente en la renovación de eritrocitos y en la síntesis de enzimas dependientes de este nutriente. Sin embargo, el tejido blanco de este nutriente es la medula ósea para llevar a cabo la síntesis de hemoglobina. También se dirige hacia las células que contienen hierro, enzimas dependientes de hierro y durante la gestación hacia la placenta para transferir hierro hacia el feto. Otras funciones son la producción de ATP, activación del oxígeno y transporte de este vía la hemoglobina o mioglobina. ⁷⁵

Dado el requerimiento del neonato, la yegua necesita tener suficiente reservas de hierro para poder suministrar a través de la leche las concentraciones suficientes al potro para que este pueda ser capaz de enviar oxígeno a todo el cuerpo y mantener todos los procesos de multiplicación, renovación y crecimiento tisular.⁷⁵

K) Iodo

La mayor parte del iodo se encuentra presente en la glándula tiroidea, es necesario para la síntesis de las hormonas tiroideas T_3 y T_4 , las cuales regulan el metabolismo basal. Además, la concentración de iodo en el feto o el neonato depende totalmente de la cantidad consumida por la madre, así que la deficiencia o exceso de este nutriente resulta en un deterioro durante el crecimiento del feto o del neonato.⁷⁵

L) Manganeso

De igual forma que algunos de los otros minerales, el manganeso es absorbido en su mayor parte en el intestino delgado, mientras que en el intestino grueso hay una secreción, teniendo una absorción neta del 10 al 50 %.⁷⁸

Inmediatamente después de haber sido absorbido en la mucosa intestinal, el manganeso es transportado hacia el hígado para de ahí ser distribuido hacia todos los tejidos; sin embargo, a nivel celular el manganeso es incorporado a la mitocondria.⁷⁵

El manganeso contribuye a la función celular adecuada mediante la activación o disponibilidad de enzimas dependientes de este elemento y posiblemente juega un papel en el reconocimiento fetal durante la gestación, interactuando con la secreción de progesterona en los primeros días posteriores a la fertilización.⁹¹ Además, el

manganeso también forma parte de la superoxidismutasa, enzima responsable de la protección celular contra los radicales libres, no solo después del nacimiento en casos de actividad muscular intensa, sino que también durante la etapa fetal.

Debido a que la síntesis de matriz orgánica del tejido óseo inicia mucho antes de la mineralización del hueso, la demanda de manganeso se incrementa desde el segundo tercio de la gestación. Sin embargo, la tasa de transferencia yegua-feto parece ser suficiente. ¹⁵

M) Selenio

El selenio es componente esencial de la enzima glutatión peroxidasa, encargada de la inhibición y destrucción de los lipoperóxidos e hidroperóxidos tóxicos para las células. Además, participa en el control del metabolismo de las hormonas tiroideas. ⁷⁵

Algunos signos de deficiencia de este nutriente son: miopatías, debilidad, dificultad para mamar y tragar, fallas en la función cardíaca. ¹⁵ Sin embargo, la miopatía nutricional o enfermedad del músculo blanco, generalmente está asociada a una deficiencia de vitamina E, por lo que se tiene que evaluar simultáneamente a estos dos nutrientes para determinar alguna deficiencia. ^{15, 75}

N) Cobalto

La microbiota presente en el ciego y el colon utilizan este nutriente para la síntesis de la vitamina B₁₂ y así el cobalto participa en la hematopoyesis junto con el hierro y el cobre. ¹⁵

Ñ) Vitamina A o retinol

La vitamina A es necesaria para la implantación, la vida embrionaria y durante la organogénesis, así como para la integridad de los epitelios. ⁹² El retinol cruza la

placenta independientemente del consumo materno. El hígado es el órgano de almacenamiento de esta vitamina ⁹³ y regula la absorción o excreción para su utilización, compensando el incremento o disminución en el consumo. ⁷⁵

La consecuencia de una deficiencia de vitamina A en el equino en crecimiento es la queratinización del tejido epitelial en algunos tejidos como los pulmones y el tracto gastrointestinal. ¹⁵

O) Vitamina D

La vitamina D forma parte de los procesos de regulación mineral, específicamente, el crecimiento óseo. Los órganos blanco de esta vitamina son el intestino, el riñón y el hueso. ⁷⁵

La vitamina D facilita la absorción de calcio en el intestino y su reabsorción en el riñón; al mismo tiempo que influye en la movilización del calcio y el fósforo en los huesos. Además, se ha demostrado que aparte de participar en la homeostasis del calcio, la vitamina D influye en el crecimiento y diferenciación celular. ⁹⁴

El requerimiento de esta vitamina durante el crecimiento es de 22.2, 17.4, 15.9 y 13.7 UI/kg de peso vivo para animales de 0-6, 7-12, 13-18 y 19-24 meses de edad, respectivamente. ¹⁵

P) Vitamina E

La principal función de la vitamina E es la de ser antioxidante, particularmente, se encarga de la integridad de las membranas celulares. El hígado es un almacén importante de esta vitamina, pero otros tejidos como los pulmones también pueden llegar a almacenarla. El caballo en crecimiento depende de la cantidad consumida

por la madre ya que la leche será la única fuente de esta vitamina disponible para el potro durante la primera semana de vida. ^{15, 75}

Q) Vitamina K

La vitamina K normalmente se entiende que es un factor de coagulación esencial; sin embargo, para el crecimiento, participa en la formación de tejido óseo de manera importante y ocasionalmente no es tomada en cuenta. ⁷⁵

3.4 Producción Equina

3.4.1 Sistemas de producción equina en México

La selección del sistema de producción equina depende de la raza y fin zootécnico con el que se trabaje y las particularidades climatológicas de cada región. En todo caso, el objetivo es asegurar la producción eficiente de equinos que aseguren un futuro exitoso.^{6, 95}

Ciertamente, para el éxito en la producción equina ha sido necesario desarrollar métodos que aseguran su reproducción en condiciones distintas a las naturales. Sin duda, lo primero que debe asegurarse es un buen estado nutricional, lo que se logra mediante la provisión de alimento con la proporción ideal de nutrientes. Esto es importante no solo para cubrir las demandas del animal en cada etapa fisiológica, sino también por el interés en que los recursos se usen eficientemente tanto por razones ambientales, como por razones económicas.

Por lo anterior, el criador de equinos debe implementar distintos sistemas de alimentación capaces de ser eficientes en términos de instalaciones, tiempo, recurso humano y recurso económico. De tal forma que se presentan los tres sistemas de alimentación bajo los cuales es posible producir equinos en México de forma más o menos exitosa.

A) Sistema intensivo

El sistema intensivo es utilizado por criadores que tienen muchos animales y disponen de niveles de tecnificación y recursos económicos suficientes para poder llevar a cabo la alimentación de sus animales, exclusivamente, basada en el consumo de forrajes henificados.¹⁶

Dada las demandas comerciales actuales y la variabilidad en el valor nutritivo de los alimentos en México, resulta conveniente complementar la ración principalmente con cereales mixtos como: avena, cebada y maíz. Además, otra práctica común es la utilización de alimento comercial formulado para las distintas etapas fisiológicas; sin embargo, a pesar del equilibrio nutricional que estos alimentos comerciales tienen, los resultados no siempre son los esperados gracias a la falta de asesoría sobre la cantidad mínima o máxima necesaria para cubrir los requerimientos de cada individuo, resultando en una doble pérdida económica para el criador puesto que invierte mucho dinero en este tipo de alimento sin obtener beneficios y al mismo tiempo el costo de tratamiento por alteraciones en el animal resultado del desequilibrio nutricional.⁹⁵

De acuerdo con Harris 2001, la dieta actual del equino debe estar determinada por distintos factores como: la condición corporal, la disponibilidad de alimentos, la raza, el fin zootécnico, entre otros. Por lo que, sugiere que la dieta bajo este sistema de alimentación para una yegua criolla al final de la gestación debe estar compuesta: 80 % forraje y 20 % concentrado. Mientras que la dieta para una yegua purasangre inglés gestante debe estar compuesta en un 40 % forraje y 60 % concentrado.⁹⁶ Estas son recomendaciones generales, tal como se ha mencionado, es necesario hacer la valoración de la condición corporal del caballo, entre otros.

B) Sistema semi – intensivo

Es un sistema de alimentación que permite combinar dos sistemas de alimentación simultáneamente:⁹⁵

- 1) Pastoreo diurno o las 24 horas del día.

2) Complementación en pesebre con algún alimento concentrado

De igual forma que el anterior sistema de alimentación, es conveniente conocer el valor nutritivo del forraje disponible, más el del alimento concentrado con la finalidad de hacer la estimación del aporte total de ambas fuentes de nutrientes a fin de mantener balanceada la ración.

C) Sistema extensivo

El sistema de alimentación en pastoreo es utilizado en condiciones en las que se disponga de grandes extensiones de tierra, principalmente, en regiones templadas y tropicales, terrenos montañosos o planicies, donde la disponibilidad de forraje sea suficiente y constante para cubrir los requerimientos en cada etapa de vida.

De acuerdo con Boulot 1987, el consumo voluntario de forraje del équido en pastoreo es: ⁹⁷

1) gestante: 85-97 g/ $PV^{0.75}$ /día

2) lactante: 155-188 g/ $PV^{0.75}$ /día

3) crecimiento: 170 g/ $PV^{0.75}$ /día

Por ejemplo, para estimar el consumo voluntario de materia seca (CVMS) de una yegua gestante de 450 kg en pastoreo se calcula de la siguiente forma:

$$CVMS = (97) (450)^{0.75}$$

$$CVMS = (97) (97.70)$$

$$CVMS = 9,476.9 \text{ g/día}$$

Por lo tanto el CVMS es del 2.1% del peso vivo.

La alimentación del caballo bajo este sistema de alimentación en ocasiones se lleva a cabo de forma compartida con otras especies, generalmente rumiantes; sin embargo la principal interacción que hay entre estas especies en condiciones de escasez es la competencia por el recurso forrajero.⁹⁷

Durante la temporada de estiaje o cualquier otra situación que afecte la disponibilidad de forraje, puede llegar a complementarse la alimentación con forrajes henificados y en ocasiones con alimento concentrado.⁹⁸

Generalmente, bajo este sistema de alimentación el destete se lleva a cabo a los 237 kg aproximadamente, teniendo como objetivo, permitir a la yegua recuperar su condición corporal lo antes posible.⁹⁵

El pastoreo extensivo tiene algunas ventajas sobre los otros sistemas de alimentación; siendo algunas:⁹⁵

- 1) Mayor digestibilidad del forraje
- 2) Menor costo por concepto de alimentación
- 3) No requiere almacenamiento
- 4) No requiero recurso humano
- 5) Inicia la actividad física en el potro, favoreciendo la maduración de tejidos

3.4.2 Principales razas en México

La producción ecuestre en México ha estado en crecimiento durante los últimos años, motivo por el cual la introducción de nuevas razas al país con el propósito de crianza ha ido aumentando.

Actualmente, México es productor de la mayoría de las razas existentes en el mundo. En el Cuadro 1 y 2 se presentan las principales razas ligeras criadas en México, señalando el peso promedio adulto, alzada promedio, tipo de sangre y el fin zotécnico para el cual se crían. Además, se observa la ausencia de datos que indiquen el peso adulto promedio de algunas razas que actualmente se están criando en México; por lo que, se recomienda llevar un manejo y registro apropiado del peso adulto de los padres para poder estimar el peso adulto al que ha de llegar el
el potro.

Cuadro 1. Peso adulto promedio, alzada promedio, tipo de sangre, origen y fin zootécnico de distintas razas ligeras de sangre tibia criadas en México

Raza	País de Origen	Tipo de Sangre	Alzadas promedio (mts)	Peso Adulto Promedio (kg)		Fin Zootécnico
				Macho	Hembra	
Trakehner	Polonia	Tibia	1.62-1.72	498	408	Salto, Silla y Adiestramiento
Cortador Canadiense	Canadá	Tibia	1.62	-	-	Silla, agricultura
Appaloosa	E.U.A	Tibia	1.47-1.57	500	365	Silla
American Saddlebred	E.U.A	Tibia	1.52-1.62	544	454	Silla, Tiro
Palomino	E.U.A	Tibia	1.72	-	-	Silla
Pinto	E.U.A	Tibia	1.62	-	-	Silla
Cuarto de Milla	E.U.A	Tibia	1.42-1.62	544	408	Silla, Tiro
Standardbred	E.U.A	Tibia	1.42-1.62	544	408	Tiro
Warmblood Belga	Belgica	Tibia	1.67	-	-	Silla, Salto, Adiestramiento
Warmblood Danés	Dinamarca	Tibia	1.62-1.67	-	-	Silla, Adiestramiento, Salto
Camargue	Francia	Tibia	1.47	400	300	Silla
Silla Francés	Francia	Tibia	1.72	-	-	Silla
Bavarian Warmblood	Alemania	Tibia	1.62	-	-	Silla, salto
Hanoveriano	Alemania	Tibia	1.67	861	500	Silla, salto
Hosstein	Alemania	Tibia	1.62-1.72	-	-	Silla, salto
Oldenburg	Alemania	Tibia	1.62-1.77	-	-	Silla, tiro
Westphalian	Alemania	Tibia	1.60-1.67	-	-	Silla, Adiestramiento
Württemberg	Alemania	Tibia	1.62	-	-	Silla
Warmblood Holandés	Holanda	Tibia	1.70	-	-	Silla, Adiestramiento
Warmblood Sueco	Suecia	Tibia	1.70	544	450	Silla, tiro, adiestramiento
Warmblood Suizo	Suiza	Tibia	1.67	-	-	Silla, tiro
Lipizzano	Eslovenia	Tibia	1.52-1.62	460	408	Silla, tiro
Andaluz	España	Tibia	1.52-1.62	-	-	Silla, rejoneo, alta escuela
Cartujano	España	Tibia	1.52-1.62	-	-	Silla, adiestramiento, rejoneo
Lusitano	Portugal	Tibia	1.52-1.62	500	450	Silla, rejoneo, tiro

Cuadro 2. Peso adulto promedio, alzada promedio, tipo de sangre, origen y fin zootécnico de distintas razas ligeras de sangre caliente y fría criadas en México

Raza	País de Origen	Tipo de Sangre	Alzadas promedio (mts.)	Peso Adulto Promedio (kg)		Fin Zootécnico
				Macho	Hembra	
Hispano	España	Caliente	1.62	-	-	Silla y Adiestramiento
Árabe	P. Arábigo	Caliente	1.52	454	408	Silla
Purasangre Inglés	Inglaterra	Caliente	1.62 – 1.67	544	408	Carreras, Silla
Anglo – Árabe	Inglaterra & Francia	Caliente	1.57 – 1.67	-	-	Silla y Adiestramiento
Frisón	Holanda	Fría	1.50 – 1.70	725	589	Tiro, Exposición

En el Cuadro 3 se presentan un resumen del peso adulto promedio, alzada promedio, tipo de sangre y fin zootécnico de las principales razas pesadas que actualmente se están criando en México.

El objetivo de los Cuadros 1, 2 y 3 es facilitar el cálculo de los requerimientos nutricionales del caballo en crecimiento, mediante la aproximación de estos tomando en cuenta el peso adulto promedio, permitiendo la estimación de la ganancia diaria de peso promedio necesaria para alcanzar el peso según la raza en función del tiempo.

Cuadro 3. Peso adulto promedio, alzada promedio, tipo de sangre, origen y fin zootécnico de distintas razas pesadas criadas en México

Raza	País de Origen	Tipo de Sangre	Alzada promedio (mts)	Peso Adulto Promedio (kg)		Fin zootécnico
				Macho	Hembra	
Clydesdale	Inglaterra	Fría	1.62-1.82	907	771	Tiro
Shire	Inglaterra	Fría	+1.72	1118	1016	Tiro pesado
Percherón	Francia	Fría	1.52-1.93	816-1043	725-907	Tiro, Silla,

3.4.3 Etapas del crecimiento en el equino

El crecimiento del caballo al igual que el de otras especies es consecuencia de muchos procesos fisiológicos que implican cambios celulares, anatómicos, estructurales, metabólicos, adaptativos, funcionales, conductuales, entre otros. De tal forma que, los requerimientos nutricionales necesarios para desempeñar estos procesos varían en cantidad de acuerdo con la edad del animal y están en función de la necesidad particular de cada tejido para llevar a cabo la deposición adecuada de nutrientes en función de la demanda de cada tejido.

Tal como se ha mencionado, el crecimiento inicia desde la vida uterina ¹⁶ y termina hasta los 5 años de edad;⁸ sin embargo, en términos de requerimientos nutricionales, el crecimiento fetal es considerado desde el punto de vista de la yegua; mientras que, al nacimiento la nutrición del potro se conduce de forma individual, por lo que, es necesario categorizar distintas etapas a lo largo del crecimiento extrauterino con la finalidad de suministrar eficientemente los nutrientes esenciales en cantidad y calidad necesarios para lograr el máximo potencial genético de cada ejemplar.

La clasificación que se presenta en este documento está basada en la literatura consultada para estimar los requerimientos nutricionales de acuerdo a la edad fisiológica de cada animal en los distintos sistemas de alimentación.

A) Neonato

Se considera neonato al animal desde el momento del nacimiento hasta los 14 días de edad, tiene una tasa metabólica muy acelerada; además, durante esta etapa el

consumo oportuno de calostro y posteriormente de leche es fundamental para asegurar la supervivencia del animal, pues de no hacerlo será incapaz, primero de adquirir los anticuerpos suficientes a través del calostro y estimular el funcionamiento del sistema inmune y segundo, el consumo de leche materna oportunamente es necesario puesto que el animal nace con reservas energéticas mínimas.

B) De tres meses

Los requerimientos nutricionales del animal de tres meses son muy elevados debido a su elevada tasa metabólica; además, están en función de la producción láctea de la yegua, por lo que esta debe ser evaluada con la finalidad de conocer el aporte exacto de nutrientes y de ser necesario complementar la dieta hasta cubrir los requerimientos necesarios para el crecimiento y maduración de tejidos. Además, a los 3 meses el potro debe haber alcanzado el 35% de su peso adulto promedio mediante el consumo de leche materna como su principal alimento; esto es, de 45 kg al nacimiento a 160 kg a los tres meses.⁶

C) De seis meses

Probablemente, esta sea una de las etapas más importantes en el crecimiento del caballo. De acuerdo con Martin-Rosset 2004, el potro debe alcanzar el 45% de su peso adulto al destete.⁸ No obstante que es un evento sumamente estresante logrando que el crecimiento del potro disminuya, resulta importante estimar los requerimientos nutricionales con el objetivo de minimizar los efectos del estrés posdestete. Además, es necesario considerar el efecto que ejerce esta etapa sobre el ritmo de crecimiento del equino.

D) De 12 meses

Los requerimientos nutricionales para el potro de un año de vida deben ser considerados con el objetivo de cubrir la ganancia diaria de peso elevada y un peso corporal del 50% del peso adulto.⁸ Sin embargo, es conveniente considerar que los tejidos aun no están suficientemente maduros para soportar peso excesivo, por lo que no se debe exceder el aporte energético de la dieta ni mucho menos el aporte mineral en cantidad y sobre todo proporción, puesto que de los 6 a los 12 meses es donde ocurren con mayor frecuencia las enfermedades musculo-esqueléticas asociadas al crecimiento acelerado.^{6, 99}

E) De 18 - 24 meses

Generalmente, la mayoría de los equinos inician su entrenamiento durante esta etapa por lo que es ideal hacer el cálculo de los requerimientos nutricionales para crecimiento más los necesarios para cubrir las demandas de acuerdo al tipo de actividad física; de no hacerlo, las demandas nutricionales generadas por el inicio del entrenamiento superaran al aporte en la dieta impidiendo continuar con el crecimiento del potro de forma eficiente. Además, el mercado de las carreras de caballos exige potros que inician su entrenamiento y actividad atlética a los dos años; por lo que el animal deberá alcanzar el 100% de su peso adulto antes de los 24 meses, para lo cual, es necesario hacer ajustes nutricionales que permitan lograr estas exigencias resultado de un crecimiento acelerado.

F) Más de 24 meses

Es la etapa donde prácticamente el animal debe haber alcanzado al menos el 95% de su peso adulto. En términos nutricionales, es importante considerar que el equino al llegar a los cinco años o al 100% de su peso adulto será necesario recalculer los requerimientos nutricionales eliminando los requerimientos para crecimiento y sostener, exclusivamente, los de mantenimiento y en caso de desempeñar alguna actividad física, los de ejercicio. ¹⁵

3.4.4 Parámetros productivos

A) Tasa de crecimiento

El objetivo de la producción de potros para cualquier actividad deportiva es tener la capacidad de expresar todo su potencial de trabajo, sin embargo, una tasa de crecimiento inapropiada puede ser la diferencia entre presentar limitaciones a futuro en su rendimiento físico por múltiples razones. ⁶

Existen algunos trabajos hechos en caballos, que han reportado alta correlación entre la tasa de crecimiento acelerado y la presentación de enfermedades ortopédicas del desarrollo.^{8,24,100,101} La causa de estas enfermedades es principalmente, la maduración temprana de los huesos y otros tejidos en crecimiento acelerado.

La tasa de crecimiento está determinada por la combinación de ciertos factores genéticos y nutricionales; a pesar de que, no existe una relación directa, pero si un factor predisponente entre la tasa de crecimiento acelerada y las enfermedades ortopédicas del desarrollo, ¹⁰² es siempre deseable y favorable tratar de mantener curvas de crecimiento adecuadas. ^{103, 104}

El crecimiento posparto es muy acelerado en cualquier raza. De acuerdo con Martin-Rosset 2004, un potro debe de pesar al menos 45% de su peso adulto al destete; por ejemplo, el potro Pura Sangre Inglés (PSI) alcanza del 60 al 70% de su peso adulto al momento de ser destetados, el 90% de la alzada total y aproximadamente el 95% del crecimiento óseo a los 12 meses de edad. ⁶

De acuerdo con Martin-Rosset 2004, el ritmo de crecimiento normal que debe seguir un caballo con peso adulto promedio de 450 kg se muestra en el Cuadro 4. ⁸

Cuadro 4. Peso a edad, ganancia diaria de peso y porcentaje del peso adulto a edad en crecimiento normal para caballos con peso adulto promedio de 450 kg

Edad (meses)	Peso a edad (kg)	% Peso adulto a edad	GDP (kg)
0	45	10	1.220
1	81	18	1.254
3	160	35	0.495
6	202	45	0.247
12	247	54	0.210
18	293	65	0.173
24	324	72	0.189
42	427	95	0.041
60	450	100	-

Adaptado de Martin-Rosset, 2004 ⁸

En términos generales, una vez que el periodo máximo de crecimiento se ha completado, las variaciones posteriores en el ritmo de crecimiento tienen poca influencia sobre el peso adulto. Por ejemplo, se ha reportado que existe un crecimiento intensivo de potros añeros durante la primavera y el verano, quizás debido al pobre contenido energético presente en los pastos durante el invierno, por lo que presentan el fenómeno de crecimiento compensatorio al consumir pastos de mejor calidad. ¹⁰³

La tasa de crecimiento en un potro lactante depende principalmente de la producción láctea de la yegua durante los primeros meses de lactación y posteriormente de la disponibilidad de nutrientes al momento de complementar su dieta al término de la lactación. La tasa de crecimiento del potro lactante está determinada primeramente por su potencial genético, sin embargo esta puede verse afectada por diversos factores como el consumo deficiente de nutrientes (proteína y energía), más el efecto ocasionado por el proceso de destete, comúnmente llamado “estrés posdestete”. Sin embargo, la tasa de crecimiento puede modificarse si se proporciona una dieta que proporcione energía y proteína de calidad y en cantidad suficiente.⁸

El crecimiento acelerado favorece la deposición de mayores cantidades de moléculas nutrientes en los huesos, músculo y tejido adiposo; comparado con aquellos potros que lo hacen a un ritmo menos acelerado; por lo tanto sus requerimientos nutricionales son mayores. A pesar de la existencia de algunas desventajas clínicas, la producción de potros, principalmente, para carreras y sus exigencias comerciales requieren ejemplares capaces de alcanzar el peso promedio adulto antes de los dos años de vida, de tal forma que, la nutrición es determinante para llegar al objetivo. No obstante que, el crecimiento acelerado no es deseable, actualmente muchos ejemplares son sometidos a estas tasas de crecimiento. De acuerdo con Pagan 1996,⁴⁶ la ganancia diaria de peso promedio necesaria para alcanzar el peso adulto antes de los 24 meses de vida en un caballo con un peso adulto de 450 kg se muestra en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Peso a edad, ganancia diaria de peso y porcentaje del peso adulto a edad en crecimiento acelerado para caballos con peso adulto promedio de 450 kg

Edad (meses)	Peso a edad (kg)	% Peso adulto a edad	GDP (kg)
0	45	10	1.938
0.5	70	16	1.179
1.5	104	23	1.055
3	162	36	0.804
6	230	51	0.589
9	279	62	0.434
12	350	70	0.487
14	356	79	0.524
16	385	86	0.262
20	414	92	0.690

Adaptado de Pagan, 1996. Kentucky Equine Research ⁴⁶

De tal manera que, al comparar la ganancia diaria de peso promedio necesaria para alcanzar el peso adulto promedio bajo un ritmo de crecimiento acelerado (Cuadro 5) y otro de crecimiento normal (Cuadro 4), se observa que es posible lograr el objetivo de llegar a los 450 kg antes de los 24 meses de vida. Sin embargo, la reducción del tiempo en el que el animal debe desarrollarse implica tener un control preciso de los requerimientos nutricionales que permitan desarrollar y madurar los tejidos corporales con mayor rapidez y sin complicaciones que a futuro afecten el desempeño atlético del caballo.

Además, es notable que en ambos cuadros a partir de los 6 meses de edad existe una disminución considerable en la GDP; esto es, porque a esta edad o antes

ocurre el proceso de destete, causando un sesgo normal en el crecimiento del caballo.

Con la finalidad de llevar un control adecuado de la tasa de crecimiento, Harris 2008 recomienda:⁶

- Pesar cada quince días o cada mes; o bien utilizar ecuaciones diseñadas para estimar el peso de potro en crecimiento.
- Medir la altura a la cruz
- Determinar la ganancia diaria de peso
- Evaluar condición corporal frecuentemente

Teniendo siempre como objetivo:

1. Mantener un crecimiento en talla y peso constante
2. Evitar cambios abruptos en el ritmo de crecimiento
3. Evitar fenómeno de crecimiento compensatorio
4. Evitar que los animales acumulen grasa o sean demasiado pesados.

En resumen, a pesar de que suministrar los nutrientes necesarios durante la gestación, lactación y crecimiento del potro, no garantiza la salud ni el éxito en la producción equina. Sin embargo, monitorear constantemente la tasa de crecimiento de cada ejemplar acorde con los objetivos planteados por cada criador, permite realizar la estimación más precisa de los requerimientos nutricionales para desempeñar el máximo potencial de crecimiento, determinar la ganancia diaria de peso según la raza y el fin zootécnico; teniendo como resultado la disminución o ausencia de ciertas alteraciones fisiológicas durante el crecimiento.

B) Talla corporal (alzada)

La talla se define como los cambios que el cuerpo experimenta en sus distintas regiones, órganos y tejidos a través del tiempo. ⁸

La longitud y la altura a la cruz del feto, aumentan durante el 5° y 7° mes de gestación, respectivamente. Al nacimiento la altura a la cruz es del 60 por ciento de la del adulto. ⁸

Desde el nacimiento hasta que el potro llega a adulto, la talla corporal varía siguiendo un patrón de crecimiento bien descrito en estudios realizados por Martin-Rosset 2004. Durante el primer año de vida el cuerpo del potro puede visualizarse dentro de un rectángulo vertical, para que la altura a la cruz sea del 90 por ciento del total a los 12 meses. Más tarde, la longitud y altura a la cruz aumentan; siendo que, a los 18 meses el cuerpo puede visualizarse dentro de un cuadrado. A los dos años de edad, el perímetro torácico tiene un valor del 90 por ciento del total. Para que al final del crecimiento, el cuerpo del caballo pueda observarse dentro de un rectángulo horizontal. ⁸

Al final, la talla total se alcanza entre los 4 y 7 años de vida dependiendo de la raza.

⁸

C) Peso al nacimiento

El peso al nacimiento de un potro es del 7 al 13 % de su peso adulto, aproximadamente de 23 a 77 kg; sin embargo, es influenciado por muchos factores

como: la edad de la yegua, la duración de la gestación y la estación del año en la que el potro nace. En el Cuadro 5 se muestra el peso adulto promedio, peso al nacimiento en kilogramos y en porcentaje del peso adulto de algunos équidos. Por ejemplo, el peso corporal del potro se incrementa al doble durante el primer mes de vida. ⁸

El peso al nacimiento puede estimarse utilizando la siguiente ecuación: ⁸

$$BW_p = 0.45 BW_m^{0.75}$$

Donde: BW_p = peso del potro al nacimiento; BW_m = peso metabólico de la yegua

En el Cuadro 6 se presenta el peso al nacimiento y el peso adulto en kilogramos; así como, el porcentaje del peso adulto de distintas razas. La información de este cuadro es útil en términos de estimar el peso al que un caballo en crecimiento debe llegar a la edad adulta; además, permite verificar que el peso al nacimiento sea en proporción al peso de su madre.

Cuadro 6. Peso al nacimiento, Peso Adulto y porcentaje del peso adulto de algunas razas.

Raza	Peso adulto (kg)	Peso al nacimiento (kg)	%
Shire	1016-1118	68-77	6.8
Pura Sangre Inglés	505	50.3 +/- 5.9	10.0
Lippizano	408-460	42.5	9.8
Árabe	418-432	41.5	9.8
Pony de Shetland	173	23.0	13.3
Przewalski	250-325	25-30	9.6
Cebra	340	30-35	9.6
Caballo de Silla Francés	565	53 +/- 4	9.5

Adaptado de Langlois, 1973; Platt, 1984

El peso al nacimiento de un potro puede ser mayor que el de una potranca; por ejemplo, en la raza Belga esto es de 2.5 a 3.5 kg más en el macho,¹⁰⁵ quizás esto se puede explicar debido a que la duración de la gestación de un macho es mayor: +1.7 días.^{106, 107, 108, 109}

Así mismo, el peso al nacimiento puede ser de 2 a 7 kg menor en potros provenientes de yeguas primíparas.^{105, 110} Mientras que, potros nacidos de madres cuyas edades fluctúen entre seis y siete años, tendrán un peso al nacimiento mayor.

111

La época del año también influye directamente sobre el peso al nacimiento; sin embargo, este aún no está bien diferenciado del que ejerce el tiempo de gestación, ya que este último factor contribuye en un 43% de la variación total sobre el peso al nacimiento.¹⁰⁷

La duración de la gestación puede ser de 6 a 10 días más corta, dependiendo si el parto tiene lugar en otoño o primavera; por ejemplo, el peso al nacimiento en razas ligeras tiende a ser mayor durante la primavera.^{112, 113}

D) Ganancia diaria de peso (GDP)

Al hablar del equino en crecimiento, resulta importante conocer el peso adulto que un potro ha de alcanzar según su raza, permite establecer la ganancia diaria de peso y por consiguiente plantear el ritmo de crecimiento que ha de seguir el potro desde su nacimiento hasta llegar a ser adulto.

De acuerdo con Martin-Rosset,⁸ la GDP de un potro en crecimiento está en función del potencial genético particular de cada raza y del consumo de nutrientes; siendo esta ganancia de 1.6 a 2.0 kg en razas ligeras y pesadas, respectivamente.¹¹⁴

A los tres meses de edad, esta ganancia disminuye y su valor es de 1.2 a 1.4 kg; esta disminución se debe a que la producción de leche comienza a decaer y es aquí donde se debe poner especial atención ya que se debe empezar a complementar la dieta con alimento, sea forraje o concentrado.⁸

Al destete el peso corporal será cinco veces mayor que el peso al nacimiento, lo que es lo mismo que el 45% del peso adulto promedio; por lo que la ganancia será de 1.0 a 1.2 kg/día en razas ligeras y pesadas, respectivamente. De acuerdo con Harris 2008, la GDP tiende a ser mayor a cualquier edad en razas pesadas (más del 50%) y menor en los ponies.⁶

El peso corporal aumenta en un 65, 72 y 95 por ciento a los 18, 24 y 42 meses de edad, respectivamente; mientras que, la ganancia diaria de peso disminuye de 800-400, 400-700 y 0-100 g a las edades correspondientes y según la raza, ligera o pesadas, respectivamente.⁸

e) Peso adulto

El peso adulto de un caballo va de 180 a 1100 kg dependiendo de la raza. Este peso es alcanzado en su totalidad entre los 4 y 7 años de edad.

3.4.4 Exterior y conformación

A) Exterior

Es la rama de la zootecnia que estudia las partes externas del animal en estado estático y dinámico, para determinar la aptitud o inaptitud de dicho animal. Además, es necesario considerar el exterior de cada ejemplar con la finalidad de definir los criterios necesarios para conducir el crecimiento del animal lo más exitoso posible.

B) Conformación

La conformación se refiere a la apariencia completa y perfil del caballo resultado del arreglo de sus músculos, huesos y otros tejidos corporales; conduce los aspectos funcionales del caballo y puede representar desempeño superior en ciertas disciplinas o actividades zootécnicas.¹¹⁵ Es inapropiado, estandarizar un grado de conformación perfecta o ideal porque las características dependen directamente del fenotipo, la raza y el fin zootécnico.

La conformación determina la apariencia general del caballo y es resultado de la selección natural y la selección del hombre para ciertas características;¹¹⁶ juega un papel importante como indicador de rendimiento en caballos atletas; sin embargo, la evaluación exitosa de la conformación requiere tener conocimiento y experiencia suficiente.¹¹⁷

Los rasgos de conformación se clasifican en cualitativos y cuantitativos; es decir, aquellos que son necesarios medir. Los primeros, son descripciones subjetivas de la conformación corporal y los miembros, los pasos del caballo y algunos rasgos ortopédicos; mientras que, los segundos son resultado de la medición de algunas longitudes, ángulos, diámetros, entre otros, utilizando por ejemplo, técnicas fotográficas o de video.¹¹⁶

La evaluación de la conformación tiene cuatro componentes básicos:^{116, 117}

- 1) El equilibrio
- 2) La musculatura
- 3) Los aplomos
- 4) Las longitudes, alturas, ángulos y líneas.

Además, las regiones a evaluar de la conformación de cada animal son la cabeza, el cuello, el dorso, el anca, la grupa, la cadera y los miembros.

De acuerdo con Stashak 2002, la conformación apropiada de los miembros es el factor más importante en el desempeño del caballo, pues los miembros anteriores soportan del 60 al 65% del peso corporal. Por lo que, fallas de conformación no son importantes por sí mismas, pero deben ser consideradas como desventaja predisponiendo a ciertos tipos de claudicación. ¹¹⁵

Es importante mencionar que los potros nacen normalmente con un sistema músculo esquelético bien desarrollado. Sus huesos están bien osificados y sus miembros miden del 60 a 70 % de lo que serán en su tamaño adulto. Puesto que en la vida uterina los miembros no están soportando el peso, el potro tiende a nacer con cierta laxitud de tendones y ligamentos. Esto a menudo resulta en cierto grado de desviación angular al nacimiento, lo que normalmente se corrige en los primeros días de vida. ³⁶

La selección genética eficiente depende de la variabilidad de los rasgos de conformación y de la correlación genética existente entre conformación y desempeño atlético. Sin embargo, resulta más apropiado hacer selección genética de forma separada para cada disciplina ecuestre, gracias a que la correlación genética que existe entre la conformación y el desempeño atlético es baja, por lo

que no es conveniente hacer selección para exclusivamente tomando en cuenta el desempeño atlético basándose solamente en la conformación. Así que, si el objetivo es la producción de potros atletas con futuro exitoso es recomendable hacer selección basada en las estadísticas competitivas, aunque incluir los rasgos de conformación dentro de la selección mejorara considerablemente los resultados esperados. ¹¹⁶

Finalmente, es importante mencionar que los rasgos de conformación son altamente heredables (>0.5); ¹¹⁶ de tal forma que, considerar la evaluación de los mismos resulta ser una herramienta útil en la producción de potros sin problemas musculoesqueléticos y que aseguren un desempeño atlético exitoso.

3.5 Requerimientos nutricionales

3.5.1 Nutrición de la yegua durante la gestación

A) Energía digestible para mantenimiento

Idealmente, de la misma forma como cualquier equino, la nutrición de la yegua debe comenzar por estimar el requerimiento de mantenimiento de energía y no el potencial de consumo de materia seca. Los requerimientos de mantenimiento describen la cantidad de energía necesaria para conservar una ganancia de peso igual a cero considerando el gasto que imponen procesos como: metabolismo basal, ciclos bioquímicos, reciclaje de nitrógeno, funciones de secreción y excreción, motilidad intestinal, circulación sanguínea, tono muscular, desplazamiento mínimo, búsqueda y cosecha de alimento, masticación, incremento calórico y termorregulación.¹¹⁸ Aunque no siempre se precisa, es conveniente incluir en mantenimiento el gasto que representa la función de los órganos involucrados en la reproducción en cualquier estadio previo a la concepción.

El consumo de energía está relacionado con la actividad ovárica. El reinicio de la actividad reproductiva ha sido relacionado con las condiciones al inicio de la primavera, sobre todo por el efecto que esas condiciones tienen sobre el crecimiento de forraje y con ello sobre la disponibilidad de energía a las hembras.^{119,}

¹²⁰ En condiciones estabuladas, se ha visto que cuando el consumo es 10 a 15% mayor al mantenimiento hay ganancia de peso con efecto en la reproducción. Así mismo, la complementación energética acorta el tiempo anovulatorio del invierno,^{121, 122} favorece la fertilidad por la provisión de precursores de hormonas¹²³ e incluso promueve la ovulación.¹²⁴ Por el contrario, cuando el gasto supera el consumo energético la actividad ovárica está comprometida. Cuando el animal se encuentra

en balance energético negativo muestra reducción en la cantidad de folículos llegando a estadios finales, así como disminución de niveles circulantes de gonadotropinas, insulina, IGF-I, leptina y glucosa.¹²⁵

Para evitar entonces que el animal se encuentre en balance energético negativo, es necesario reconsiderar y estimar sus requerimientos de energía en cada etapa.⁵

El requerimiento de energía digestible (ED) para mantenimiento está en función del peso vivo del animal. Por tal motivo, el NRC¹⁵ se apoya en una ecuación que calcula la cantidad de mega-calorías (Mcal) de ED por día, después de sumar la constante 1.4 al producto de multiplicar el factor 0.03 por el peso vivo (PV). Así entonces:

$$\text{ED (Mcal/día)} = 1.4 + 0.03 \text{ PV} \quad (1)$$

Sin embargo, esta ecuación está limitada a animales de hasta 600 kg de PV. Más allá de ese peso se debe utilizar la ecuación que el mismo NRC¹⁵ presenta:

$$\text{ED (Mcal día}^{-1}\text{)} = 1.82 + 0.0383 \text{ PV} - 0.000015 \text{ PV}^2 \quad (2)$$

El Sistema Francés (INRA) se apoya en varios trabajos^{118, 126} y estima los requerimientos de energía digestible para mantenimiento al multiplicar la constante 0.140 por PV elevado a la potencia 0.75. Elevar $\text{PV}^{0.75}$ resulta en lo que se conoce como peso metabólico (PM), el cual es un exponente de la masa corporal que otorga proporcionalidad en estimaciones de índices de ciertos procesos¹²⁷ y es por tanto aplicable en equinos igual como en cualquier especie. La ecuación queda entonces como:

$$ED (\text{Mcal día}^{-1}) = 0.140 PV^{0.75} \quad (3)$$

La ecuación (3) es factible de utilizarse con caballos de cualquier talla y resuelve problemas que pudieran surgir por pesos mayores a 600 Kg.^{128, 129} El Sistema Alemán también basa sus cálculos en el PM, aunque utiliza una constante mayor a la del Sistema Francés:

$$ED (\text{Mcal día}^{-1}) = 0.143 PV^{0.75} \quad (4)$$

En el Cuadro 7 se confrontan las estimaciones de requerimiento de ED para caballos de 180, 420 y 860 kilogramo de PV con las cuatro ecuaciones mostradas. Los resultados, similares entre sí, demuestran homogeneidad en teoría nutricional equina entre de sistema a otro.

Cuadro 7. Comparación entre requerimiento estimado de energía digestible para mantenimiento con tres ecuaciones diferentes y para tres pesos distintos.

	Ecuación	Peso vivo (Kg)		
		180	420	860
Requerimiento de ED (Mcal día⁻¹)	(1)	6.80	14.00	-----
	(2)	-----	-----	22.4
	(3)	6.88	12.99	23.6
	(4)	7.00	13.30	22.8

Adaptado de Hernández GM, 2009⁵

Ajuste por tasa metabólica

Aunque el gasto energético de mantenimiento es proporcional al peso, existen variaciones individuales asociadas con el temperamento del animal. Los aumentos en necesidades por tales razones van de 5 a 20 % y se deben a diferencias en tasa metabólica tisular, tono muscular y actividad física espontánea.¹¹⁸ Es muy probable

que el efecto de la raza esté ligado al efecto de temperamento. Caballos de razas ligeras muestran gastos energéticos mayores que los ejemplares de razas pesadas o aún los ponies.^{130, 131}

Es sabido que los ejemplares Pura Sangre Inglés (PSI) suelen mostrar una tasa metabólica mayor; lo cual dificulta mantenerlos en un buen estado nutricional. Considerando diferencias en tasa metabólica, Vermorel *et al.*¹³² presentan factores para ajustar necesidades de mantenimiento (Cuadro 8). En cada caso, el factor se multiplica por lo calculado como de mantenimiento. El punto está en definir el tipo de caballo. No será difícil con un PSI, pero sí para ciertas razas, líneas o cruzamientos cuyo tipo no está definido. Por ejemplo, un Cuarto de Milla de carreras, tendrá una tasa metabólica mayor que el de alguna línea seleccionada para trabajo de ganado o conformación. Los caballos pesados como el Friesian, Percherón, Clydesdale y Shire son comunes en México, aunque actualmente son cruzados con caballos tipo sangre caliente, produciendo animales difíciles de definir.

Cuadro 8. Factores de ajuste de requerimientos de ED para mantenimiento en equinos dependiendo del tipo de caballo, función y nivel de actividad.

Nivel de actividad	Tipo de equino		
	Pesado	Silla	Pura sangre
En reposo	1.00	1.05	1.10
En trabajo	1.05	1.10	1.15
Garañón inactivo	1.10	1.15	1.20
Garañón activo	1.20-1.30	1.25-1.35	1.30-1.40

Adaptado de Vermorel *et al.*, 1984¹³²

Existen otros factores que afectan el requerimiento de ED para mantenimiento. Aumentos en el nivel de nutrición elevan el gasto debido al incremento en el metabolismo a nivel visceral.³⁰ Un aspecto importante a considerar es el tipo de alimento y sustrato encaminado a cubrir los requerimientos. La energía perdida

como calor por digestión varía ampliamente en caballos dependiendo de la composición de la dieta. Las dietas que se digieren eminentemente por fermentación en el intestino grueso resultan más termogénicas que aquellas cuya digestión se da mayormente en el intestino delgado.¹³³

El sustrato utilizado para cubrir el gasto energético afecta la eficiencia de uso de la energía. Los équidos recibiendo grasas en sustitución de carbohidratos muestran una reducción en el requerimiento de ED para mantenimiento.¹³⁴

B) Energía digestible para gestación

La gestación es una etapa esencial en la producción equina. La nutrición debe ser ideal no solo para asegurar el crecimiento del feto,¹⁷ sino también para sostener las altas demandas al inicio de la lactación y promover la fertilidad dentro del primer mes posparto, asegurando un parto para el año siguiente.¹⁹

Aunque se sugiere que el desarrollo embrionario y crecimiento fetal no requieren nutrientes adicionales durante los primeros siete meses de gestación, es siempre benéfico proporcionar una dieta bien equilibrada durante este tiempo.⁶ Los mayores requerimientos se relacionan principalmente con el aumento en la deposición a nivel tisular en el feto hacia los últimos cuatro meses de gestación, cuyo crecimiento se acelera de 0.08 a 0.33 kg/día.⁸ De acuerdo con Martin-Rosset *et al* 2004,⁸ durante los últimos cuatro meses de gestación la ganancia de peso, energía y proteína del feto cuenta para 80, 90 y 90 por ciento de la ganancia total, respectivamente. La placenta y el útero crecen y cambian en composición química,²⁰ pues estos tejidos son muy activos metabólicamente al ser responsables de la transferencia de sustancias al feto y de la síntesis de nutrientes, hormonas y factores de crecimiento.²¹ Por tanto, la demanda de sustratos, oxígeno y subsecuentes requerimientos por estos tejidos es considerable.²² Un aspecto importante es que el

feto es altamente dependiente del aporte de glucosa (85 %) ²² ya que no es capaz de producirla por sí mismo.¹⁹

El NRC ¹⁵ calcula los requerimientos diarios de energía digestible de la yegua a partir del noveno mes de gestación de acuerdo con el siguiente modelo:

$$ED_G = ED_M \times F$$

Donde ED_G , energía digestible para gestación, resulta de multiplicar el requerimiento de energía digestible de mantenimiento (ED_M) por el factor F que corresponde a: 1.11 en el noveno, 1.13 en el décimo y 1.20 en el onceavo mes de gestación. Los sistemas: francés, alemán, holandés y escandinavo basan sus cálculos en ecuaciones que consideran la ganancia de peso y la composición bioquímica del feto a distintos tiempos de gestación. Sus estimaciones no difieren ampliamente de lo estimado por el NRC (Cuadro 9). Lo destacable es que los cuatro sistemas europeos consideran aumentos a partir del octavo mes de gestación.

Cuadro 9. Factores para calcular requerimientos de energía digestible para gestación propuestos por cinco diferentes sistemas de alimentación de equinos.

Mes gestación	Porcentaje por arriba de mantenimiento				
	NRC	INRA	Alemán	Holandés	Escandinavo
8	-	0.13	0.10	0.05	0.07
9	0.11	0.19	0.10	0.10	0.13
10	0.13	0.19	0.24	0.10	0.18
11	0.20	0.26	0.26	0.15	0.25

Adaptado de Martin-Rosset *et al.*, 2006 ¹⁹

C) Energía digestible para lactación

Los requerimientos de lactación están relacionados al gasto fisiológico debido a la secreción láctea. El requerimiento de ED depende de la composición y cantidad de leche producida, ya que una buena proporción de nutrientes son convertidos en leche.^{27, 29, 135, 136} Puesto que el potro debe haber alcanzado el 45 % de su peso adulto al momento de ser destetado, la lactancia es una etapa especialmente importante en la producción equina tanto para la yegua reproductora, como para su cría. Además, la nutrición de la yegua en esta etapa es crucial porque también de ello dependerá que presente un celo fértil durante las primeras semanas postparto y que el producto encuentre las condiciones ideales para implantarse y desarrollar una nueva gestación, asegurando así la parición anual de potros.

La síntesis de leche en la glándula mamaria tiene doble origen:

- 1) Nutrientes de la dieta
- 2) Reservas corporales y síntesis *de novo*.^{26, 27, 28}

La lactosa proviene de la glucosa absorbida en el intestino delgado. Los ácidos grasos (AG) son producidos por síntesis *de novo* y captación directa por la glándula mamaria. Los precursores para la síntesis *de novo* de AG C4 a C18 son el acetato y β -hidroxibutirato producidos durante la fermentación en el ciego y colon; ni el propionato, ni la glucosa son precursores de AG de leche. Respecto a los AG que capta la glándula mamaria, estos pueden provenir de la dieta y estar circulantes en sangre, o bien de triglicéridos transportados desde el hígado o desde el tejido adiposo cuando la alimentación de la yegua es limitada en energía.^{26, 27, 28, 29}

Para lactación, los requerimientos se estiman con base en la producción láctea, dependiendo de la producción promedio diaria, contenido de nutrientes de la leche y la tasa de conversión de estos nutrientes.²⁵ La EN requerida para la producción de leche resulta de multiplicar el potencial de producción láctea por la cantidad de energía bruta (EB) contenida en cada kilogramo de leche, aunque también se ha demostrado que esto está afectado por la etapa de lactación. Las yeguas con más de 300 kg de peso secretan alrededor de 3 % de su PV en leche en la primera mitad de la lactación, mientras que en la segunda mitad secretan 2 % PV. Las hembras menores a 300 Kg PV producen más o menos 4 % PV durante la lactancia temprana y 3 % PV al final.^{15, 37} Entonces, el requerimiento de ED para lactación se eleva inmediatamente después del parto y decrece conforme avanza.

El NRC calcula el requerimiento de ED partiendo de que la leche de yegua contiene 474 KCal de EB/Kg y que la ED es convertida en energía de leche con una eficiencia de 0.60; resultando en un factor 0.792 que tiene que ser multiplicado por el potencial de producción láctea (PP_L) en kilogramos. De tal modo:

$$ED_L = PP_L * 0.792$$

El requerimiento se expresa en MCal de ED y se tiene que sumar al de mantenimiento para el animal en cuestión; tomando en cuenta que para estimar los requerimientos de una yegua de más de 600 kg se debe utilizar la ecuación propuesta para tales propósitos. Los sistemas europeos hacen una división más fina de la lactación. Ellos consideran que el pico de producción en una yegua se alcanza al segundo mes, por lo que los requerimientos deben calcularse para tres periodos agrupados de la siguiente manera: primero, segundo-tercero y cuarto-sexto mes de

lactación. ⁵ El Sistema Alemán calcula los requerimientos diarios para producción láctea de yeguas entre 100 y 800 kg considerando que la producción de leche en la yegua para cada uno de los mencionados períodos va de 0.14, 0.17 y 0.12 kilos de leche por Kg de PM; que el contenido de energía bruta por Kg de leche es de 0.58, 0.55 y 0.50 MCal, respectivamente; ¹³⁸ y que la tasa de eficiencia de utilización de energía para producción de leche es del 66 por ciento. El modelo que proponen para el cálculo de energía digestible para lactación es el siguiente:

$$ED_L = \frac{(0.12 \text{ a } 0.17 * PV^{0.75}) * (0.5 \text{ a } 0.58 \text{ MCal/kg leche})}{0.66}$$

El sistema INRA propone ecuaciones con base en las suposiciones siguientes:

- 1) Producción de leche de 3.0, 2.5 y 2.0 % PV para meses 1, 2-3 y 4-6 de lactación.
- 2) Que, en el mismo orden, la energía bruta por Kg de leche es 0.57, 0.50 y 0.47 Mcal.
- 3) Que la tasa de eficiencia de utilización de energía para mantenimiento es de 0.785
- 4) Que la tasa de eficiencia de utilización de energía metabolizable es de 0.65.

El resultado de cada ecuación se divide entre 0.70 para llevar de EN a EM y ese segundo resultado entre 0.87 para llevar de EM a ED. El Cuadro 10 compara los requerimientos de ED para lactación calculados con tres sistemas diferentes. En la mayoría de los casos los requerimientos son de más del cincuenta por ciento por arriba de mantenimiento; de hecho, los cálculos del Sistema Francés estiman el doble de requerimientos para el primer mes.

Cuadro 10. Comparación de los requerimientos totales de energía digestible para lactación y su valor proporcional de los requerimientos de mantenimiento de acuerdo con tres sistemas de alimentación en yeguas de 450 kg de peso vivo.

Mes de lactación	Sistema					
	NRC		Aleman		INRA	
	MCal ED	P	MCal ED	P	MCal ED	P
Mantenimiento	15.7		15.7		14.4	
1° mes	26.4	1.68	28.7	1.83	29.7	2.06
2° mes	26.4	1.68	30.7	1.96	25.6	1.78
3° mes	26.4	1.68	30.7	1.96	25.6	1.78
4°- 6° mes	22.9	1.46	25.3	1.61	22.8	1.58

P, incremento por arriba de mantenimiento (ED Mantenimiento*P = ED Lactación)
Adaptado de Hernández GM, 2009⁵

D) Proteína cruda digestible (PCD) para mantenimiento

Los requerimientos de PCD para mantenimiento son ligeros salvo en aquellos casos que el animal presente condición corporal (CC) baja. La estimación se apoya en una relación proteína: energía que debe guardarse sobre todo ante incrementos en el requerimiento energético. El NRC¹⁵ estima que la necesidad de mantenimiento de un equino equivale a 2.8 g de PCD por Kg de peso metabólico (PM). Lo que equivale a 19.19 g por MCal de ED.³⁰ El sistema Alemán estima que los requerimientos de PCD para mantenimiento son de 3 g por kilogramo de PM o 20.93 g de PCD por MCal de ED.¹³⁹ En Francia se utiliza un sistema de evaluación que considera la digestión prececal y cecocólica de la proteína, calculando que el requerimiento de PCD para mantenimiento es de 2.4 g de PCD por kg de PM.¹⁴⁰ El Cuadro 11, muestra los factores para calcular el requerimiento diario de PCD para mantenimiento con base en peso metabólico, lo que en un rango de peso vivo de 50 a 1200 kilogramos promediaría a 19.19 (\pm 1.10) g de PCD por MCal de ED.³⁰

Cuadro 11. Requerimiento de proteína cruda digestible para mantenimiento en equinos de acuerdo con tres sistemas de alimentación.

$PCD = 2.8 \text{ g} * PV^{0.75}$	NRC
$PCD = 2.4 \text{ g} * PV^{0.75}$	INRA
$PCD = 3.0 \text{ g} * PV^{0.75}$	Sistema Alemán

Adaptado de Hernández GM, 2009⁵

Respecto al equilibrio de aminoácidos, tanto el INRA como el NRC sugieren que este no es de importancia significativa en mantenimiento. La lisina y la treonina son los aminoácidos más limitantes, aunque, generalmente, los requerimientos de aminoácidos de caballos adultos en mantenimiento y trabajo se cubren bajo condiciones de alimentación normal.¹³⁹

Los requerimientos de proteína para yeguas no lactando durante la época reproductiva y la gestación temprana no difieren de los de mantenimiento. Sin embargo, se ha demostrado que las concentraciones de proteína en la dieta influyen en los valores de progesterona circulantes, con efectos en la fertilidad.¹⁵

E) Proteína cruda digestible (PCD) para gestación

De la misma forma que para ED las necesidades de PCD para gestación son importantes solo a partir del octavo mes. El aumento en los requerimientos llega a ser hasta de 20%,¹⁵ ya que la concentración de proteína en el feto incrementa de 100 a 171 gramos por kilogramo de peso.¹⁴²

Con base en lo presentado por el NRC y el INRA, se recomienda que para ajustar los requerimientos de PCD se adicionen al requerimiento calculado de

mantenimiento 1.23, 1.45 y 1.68 gramos por kilogramo de peso metabólico de la yegua para el 9°, 10° y 11° mes de gestación, respectivamente.¹³⁷

El NRC recomienda 44 g de PC por Mcal de ED que corresponde a un 10 % extra al requerimiento de mantenimiento. El ajuste con base en el factor 19.19 g de PCD por Mcal de ED, resulta en 21.10 g de PCD por Mcal de ED. Así, los requerimientos de PCD para cada uno de los tres últimos meses de gestación se calculan con el modelo siguiente:

$$\text{PCD} = (19.19 \text{ g} * \text{MCalED}_M) + (21.10 * \text{McalED}_G)$$

Al igual que para ED, los sistemas francés, alemán, escandinavo y holandés trabajan con ecuaciones que consideran la ganancia de peso del producto y su composición bioquímica a diferentes edades de gestación. En el rubro de PCD las diferencias de un sistema a otro son notables; sobre todo porque los europeos, a excepción de INRA, estiman requerimientos mayores al NRC (Cuadro 12). Como proporción de los requerimientos de mantenimiento, las elevaciones calculadas por los sistemas: francés, holandés y escandinavo, son sustanciales.⁵

Cuadro 12. Comparación de los requerimientos totales de PCD para gestación y su valor proporcional de los requerimientos de mantenimiento de yeguas de 450 kg de PV de acuerdo con cinco sistemas de alimentación.

Mes de gestación	NRC		INRA		Alemán		Holandés		Escandinavo	
	g PCD	P	g PCD	P	g PCD	P	g PCD	P	g PCD	P
M	330.5		295		450		317		317	
8°	330.5	1.00	340	1.15	450	1.00	369	1.16	377	1.19
9°	370.5	1.12	340	1.15	505	1.12	446	1.41	442	1.39
10°	375.5	1.14	460	1.56	505	1.12	446	1.41	482	1.52
11°	446.0	1.35	485	1.64	580	1.29	541	1.71	567	1.79

M, mantenimiento P, incremento por arriba de mantenimiento (PCD Mantenimiento * P = PCD Gestación)
Adaptado de Hernández GM, 2009⁵

F) Proteína cruda digestible (PCD) para lactación

El mayor contenido de proteína en leche de yeguas se da inmediatamente después del parto y disminuye gradualmente conforme avanza la lactación. Las caseínas representan de 50 a 65 % de la proteína verdadera. Es poco lo que se sabe del metabolismo del nitrógeno en la glándula mamaria de la yegua. Los resultados en cuanto al efecto del nivel y fuente de proteína de la dieta sobre la concentración y calidad de la proteína de la leche en yeguas son inconsistentes,²⁵ por lo que de manera general se maneja que la composición de la leche se afecta por la dieta, pero que el nivel de producción depende del consumo.^{25, 26, 27, 28, 29}

Considerando los potenciales de producción de leche de acuerdo a la proteína verdadera (PV), el requerimiento de PCD es de 0.6 g por kilogramo de PV, que el contenido de proteína cruda en leche (base fresca) es de 2.1 % en la primera y 1.8 % en la segunda mitad, que la eficiencia en la utilización de PCD a proteína de la leche es de 0.65 y que la digestibilidad de la PC de las dietas para lactación es de 55 por ciento, el NRC¹⁵ presenta ecuaciones que producen los siguientes factores:

- 33 g de PCD por Kg de leche para la primera mitad de la lactación
- 28 g de PCD por Kg de leche para la segunda mitad de la lactación

Con el mismo dato de que la eficiencia en conversión de PCD a leche es 55 %, Martin-Rosset *et al.*,²⁵ deducen que los gramos de PCD requeridos por Kg de leche son:

- 44 g de PCD por Kg de leche para el mes 1
- 38 g de PCD por Kg de leche para los meses 2 y 3
- 36 g de PCD por Kg de leche para los meses 4 a 6

Con estos factores es sencillo calcular el requerimiento de PCD para leche de acuerdo al potencial de producción de la yegua y sumarlo al requerimiento de mantenimiento calculado con la ecuación presentada para tal efecto. Recuérdese que el INRA considera potenciales de producción de 3.0, 2.5 y 2.0 por ciento para los meses 1, 2-3 y 4-6, respectivamente.²⁵

El Sistema Alemán considera que el contenido de PC de la leche es de 27, 22 y 18 g por Kg para los meses 1, 2 y 5, respectivamente, y que la eficiencia de utilización de proteína para la secreción láctea es de 0.5. Con base en ello proponen una ecuación a partir de la cual se generan los siguientes factores para ser multiplicados por la producción de leche y estimar así el requerimiento de PCD para lactación a distintas etapas:

1°	mes	54	*	$0.14 PV^{0.75}$
2°	mes	44	*	$0.17 PV^{0.75}$
3°	mes	44	*	$0.17 PV^{0.75}$
4°- 6°	mes	36	*	$0.12 PV^{0.75}$

La comparación de los cálculos del requerimiento total de PCD para lactación por cada uno de los sistemas de alimentación se presenta en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Comparación de los requerimientos totales de PCD para lactación y su valor proporcional de los requerimientos de mantenimiento de acuerdo con tres sistemas de alimentación en yeguas de 450 kg de peso vivo.

Mes de lactación	Sistema					
	NRC		Alemán		INRA	
	gPCD	P	gPCD	P	gPCD	P
Mantenimiento	300		294		254	
1° mes	746	2.5	1032	3.5	594	2.3
2° mes	746	2.5	1024	3.5	682	2.7
3° mes	746	2.5	1024	3.5	682	2.7
4° - 6° mes	552	1.9	716	2.4	578	2.3

P, incremento por arriba de mantenimiento (PCD Mantenimiento*P = PCD Lactación)
Adaptado de Hernández GM, 2009⁵

Finalmente, el Cuadro 14 integra los requerimientos nutricionales (ED y PCD) totales para gestación y lactación para una yegua de 450 kg de peso vivo, de acuerdo con tres sistemas de alimentación (NRC, INRA y GEH); todos los valores son resultado de la utilización de las ecuaciones propuestas por cada sistema. Sin embargo, estos valores solo son aproximaciones por lo que es conveniente hacer el cálculo de los requerimientos individualmente utilizando las ecuaciones antes mencionadas según la etapa fisiológica, el potencial de producción láctea y el peso corporal de cada yegua.

Cuadro 14. Comparación de los requerimientos nutricionales totales de acuerdo con tres sistemas de alimentación para yeguas de 450 kg de peso vivo durante la gestación y lactación

Etapa fisiológica	Sistema Americano (NRC)		Sistema Francés (INRA)		Sistema Alemán (GEH)	
	ED Mcal	g PCD	ED Mcal	g PCD	ED Mcal	g PCD
Gestación						
0 – 8 meses	15.7	330.5	14.4	295	15.7	450
9 meses	17.4	370.5	17.1	340	17.3	505
10 meses	17.8	375.5	17.1	460	19.5	505
11 meses	18.8	446.0	18.1	485	19.8	580
Lactación						
1 mes	26.4	746	29.7	594	28.7	1032
2 meses	26.4	746	25.6	682	30.7	1024
3 meses	26.4	746	25.6	682	30.7	1024
4 - 6 meses	22.9	552	22.8	578	25.3	716

ED, energía digestible; PCD, proteína cruda digestible; g, gramos
Modificado de Hernández, 2009⁵

G) Minerales y vitaminas

Diversos estudios sugieren el beneficio de la complementación mineral sobre la eficiencia reproductiva de los animales. Los minerales son moléculas inorgánicas esenciales para el bienestar físico y mental de los equinos pues son componentes de tejidos, células, así como de hormonas y receptores. Además, como parte de complejos enzimáticos, son importantes para facilitar reacciones bioquímicas para producir energía y proteínas. Seguramente los elementos participan en eventos de la biología reproductiva del equino, pero son pocos los estudios que se han hecho en particular. Por el momento, lo único que puede asegurarse es que la nutrición mineral equilibrada impacta benéficamente en el metabolismo, asegurando reacciones bioquímicas adecuadas para la función celular.⁵

De todos los elementos, los macrominerales (Ca, P, Mg, Na, K, Cl y S) se requieren en mayor cantidad, mientras que los microelementos se requieren en pequeñas proporciones y solo algunos son importantes en equinos y por ello se han definido sus requerimientos (Fe, Cu, Zn, Se, I, Mn y Co). La importancia de los macroelementos se distingue desde que son parte estructural de muchos tejidos en el organismo, además de participar como electrolitos regulando eventos importantes en los líquidos corporales. ⁵ Ambos requerimientos tanto de micro como de macrominerales se presentan en el Cuadro 15 expresados en gramos o miligramos por kilogramo de materia seca (MS).

Cuadro 15. Requerimientos (g, mg ó UI por Kg de MS) de minerales y vitaminas para equinos en diferentes etapas del ciclo reproductivo.

Nutriente	Mantenimiento	Gestación	Lactancia 1^a mitad	Lactancia 2^a mitad
Ca (g/Kg)	3.0	5.3	7.0	5.0
P (g/Kg)	2.1	3.5	4.0	3.4
K (g/Kg)	4.0	5.0	8.0	6.0
Mg (g/Kg)	1.0	1.2	1.5	1.2
Na (g/Kg)	1.4	1.4	2.0	1.6
Mn (mg/Kg)	40	60	60	60
Fe (mg/Kg)	40	80	80	80
Cu (mg/Kg)	15	25	25	25
Zn (mg/Kg)	40	70	70	70
Co (mg/Kg)	0.20	0.20	0.30	0.25
I (mg/Kg)	0.25	0.25	0.50	0.35
Se (mg/Kg)	0.15	0.20	0.30	0.20
Vit A (UI/Kg)	2000	3000	3000	3000
Vit E (UI/Kg)	50	80	80	80

Adaptado de: NRC, 2007; ¹⁵ Kohnke, 1989; Kapper, 2004

Las vitaminas en el organismo sirven como antioxidantes y son necesarias para diversos procesos metabólicos, participando como catalizadores en reacciones bioquímicas. Las vitaminas hidrosolubles se excretan rápidamente, no tienen un reservorio en el organismo y, por tanto, tienen que ser aportadas en una base regular, sea con la dieta o desde ciertos compartimentos corporales. Por ejemplo, el caballo es capaz de producir vitamina D siempre y cuando obtenga los precursores de la dieta y cuente con radiación solar suficiente para convertirlo. Así mismo, en el hígado puede producirse vitamina C a partir de glucosa, así como niacina por conversión de triptófano. Los microorganismos en el ciego-colon producen la mayoría de las vitaminas del complejo B y vitamina K. Así entonces, las únicas vitaminas que se requiere sean adicionadas a la dieta del caballo son la vitamina E y A, aunque por ser liposolubles pueden almacenarse en ciertos sitios del organismo.

⁵ En el Cuadro 15 se presentan los requerimientos de vitaminas en términos de unidades internacionales (UI) o miligramos por kilogramo de materia seca para caballos en distintas etapas fisiológicas.

3.5.2 Requerimientos del equino en crecimiento

A) Energía

El requerimiento total de energía digestible (ED) para el equino creciendo es la suma del requerimiento de energía digestible para mantenimiento y del requerimiento para alcanzar el potencial de crecimiento (medido como ganancia diaria de peso). La ecuación originalmente propuesta por el NRC ¹⁵ para calcular la energía digestible era la siguiente:

$$ED \text{ (Mcal/día)} = (1.4 + 0.03 * PV) + (4.81 + 1.17X - 0.023X^2) * GDP \quad (5)$$

Donde: PV = peso vivo (kg), X = edad en meses, GDP = ganancia diaria de peso en kilogramos.

Sin embargo, en esta ecuación el requerimiento de ED para mantenimiento se estima como si se tratara de un caballo adulto. De tal modo, puesto que la tasa metabólica de un animal joven es mayor que la de un adulto, el cálculo puede subestimar el requerimiento real de energía digestible.

Tomando en cuenta lo anterior, Coenen 2000 ¹⁴⁴ sugiere que el requerimiento de ED para mantenimiento es ligeramente mayor en animales jóvenes y va disminuyendo conforme aumentan su talla y edad, por lo que propone que el requerimiento de ED por kilogramo de peso metabólico ($PV^{0.75}$) corresponde a 0.210, 0.151 y 0.148 Mcal/día para potros de 0-6 meses, 7-18 meses y 24-48 meses, respectivamente.¹⁴⁴

Utilizando los ajustes propuestos, la ecuación (1) quedaría adaptada, para cada caso, de la siguiente manera:

$$ED \text{ (Mcal/día)} = (0.210 * PV^{0.75}) + (4.81 + 1.17X - 0.023X^2) * GDP \quad (6)$$

$$ED \text{ (Mcal/día)} = (0.151 * PV^{0.75}) + (4.81 + 1.17X - 0.023X^2) * GDP \quad (7)$$

$$ED \text{ (Mcal/día)} = (0.148 * PV^{0.75}) + (4.81 + 1.17X - 0.023X^2) * GDP \quad (8)$$

Por ejemplo, el requerimiento de energía para un potro de seis meses de edad con un peso de 250 kg y una GDP de 0.655 kg, se calcula utilizando la ecuación (6):

$$\begin{aligned} ED \text{ (Mcal/día)} &= (0.210 * PV^{0.75}) + (4.81 + 1.17X - 0.023X^2) * GDP \\ &= (0.210 * 250^{0.75}) + (4.81 + 1.17*6 - (0.023*6^2)) * 0.655 \\ &= (0.210 * 62.87) + (4.81 + 7.02 - (0.023*36)) * 0.655 \\ &= 13.2 + (4.81 + 7.02 - 0.82) * 0.655 \\ &= 13.2 + (11.01) * 0.655 \\ &= 13.2 + 7.21 \\ &= 20.41 \text{ Mcal/día de ED.} \end{aligned}$$

En el Cuadro 16 se presentan los requerimientos de energía digestible para mantenimiento y crecimiento normal a diferentes edades y ganancias diarias de peso, de acuerdo con los ritmos de crecimiento normales presentados por Martin-Rosset 2004⁸ en equinos cuyo peso a la madurez es de 450 kg. En el rubro de mantenimiento se presentan aproximaciones estimadas a partir de dos ecuaciones distintas. Hasta los 24 meses de edad, cuando el cálculo se hace con la ecuación

(5), que fue desarrollada para adultos, la estimación es menor que al tomar en cuenta el ajuste propuesto por Coenen 2000; ¹⁴⁴ por lo que parece conveniente utilizar tal ajuste pues un potro tiene una tasa metabólica más elevada.

Cuadro 16. Requerimientos de energía digestible para mantenimiento y crecimiento normal a edad, peso y GDP distintos en caballos con peso adulto de 450 kg.

Edad (meses)	Peso (kg)	GDP (Kg)	Mantenimiento		Crecimiento	Total (Ajus + Crec)
			Eq (5)	Ajuste		
1	80	1.25	3.8	5.6	7.4	13.1
2	90	1.25	5.0	7.6	8.8	16.4
3	160	0.495	6.2	9.4	4.0	13.5
6	205	0.247	7.6	11.4	2.7	14.1
9	230	0.247	8.3	8.9	3.3	12.2
12	255	0.247	9.1	9.6	3.8	13.5
18	295	0.173	10.3	10.7	3.2	13.9
24	325	0.189	11.2	11.3	3.7	15.0
36	395	0.150	13.3	13.1	2.6	15.7
48	440	0.150	14.6	14.2	0.1	14.3

GDP, ganancia diaria de peso; Eq (5), ecuación (5).

En el Cuadro 17 se presentan los requerimientos de energía digestible para mantenimiento y crecimiento acelerado a diferentes edades y ganancias diarias de peso, de acuerdo con los ritmos de crecimiento presentados por Pagan 1996 ⁴⁶ en un estudio realizado en potros de carreras de la raza Pura Sangre Inglés, los cuales deben alcanzar su peso adulto a antes de los 24 meses de edad.

Cuadro 17. Requerimientos de energía digestible para mantenimiento y crecimiento acelerado a edad, peso y GDP distintos en caballos con peso adulto de 450 kg.

Edad (meses)	Peso (kg)	GDP (Kg)	Mantenimiento		Crecimiento	Total (Ajus + Crec)
			Eq (5)	Ajuste		
0.5	70	1.2	3.5	5.1	6.5	11.5
1	90	1.03	4.1	6.1	6.1	12.2
2	120	1.09	5.0	7.6	7.7	15.3
3	153	0.8	6.0	9.1	6.5	15.6
6	225	0.66	8.2	12.2	7.3	19.5
9	282	0.58	9.9	10.4	7.8	18.2
12	339	0.45	11.6	11.9	7.0	18.9
18	395	0.55	13.3	13.4	10.1	23.5

GDP, ganancia diaria de peso; Eq (5), ecuación (5).

En lo que se refiere al requerimiento de energía digestible para potros con crecimiento acelerado se observa que hasta los seis meses de edad, este requerimiento no parece diferir considerablemente, incluso hasta llegar a ser menor comparado con los de crecimiento normal; sin embargo, a partir de los seis meses de edad aumenta considerablemente debido a que el potro deberá alcanzar su peso adulto antes de los 24 meses, hecho que implica un incremento en su requerimiento energético que permita lograr el objetivo.

B) Proteína cruda (PC)

El requerimiento proteico del caballo en crecimiento está compuesto, de igual forma que la energía, por el requerimiento de mantenimiento y el de ganancia de peso. Por lo tanto, el NRC ¹⁵ propone la siguiente ecuación para calcular la cantidad de proteína cruda (PC) de mantenimiento:

$$PC \text{ (g/día)} = (1.44g * PV) * ((GDP * 0.20)/E) / 0.79 \quad (9)$$

Donde: PV= peso vivo en kilogramos, GDP= ganancia diaria de peso promedio en gramos y E = eficiencia de utilización de la proteína de la dieta, la cual se estima en 50, 45, 40 y 30 por ciento a los 0-6 meses, 7-8 meses, 9-10 meses y 12-48 meses; respectivamente.

Un ejemplo, sería calcular el requerimiento de proteína cruda para un potro de 3 meses de edad, con un peso de 150 kg y una GDP de 495 grs; utilizando la ecuación (9):

$$\begin{aligned} PC \text{ (g/día)} &= (1.44 * 150) * ((495 * 0.2)/0.5) / 0.79 \\ &= 216 * (0.99/0.5) / 0.79 \\ &= 216 * (198/0.79) \\ &= 216 * 250.63 \\ &= 466.6 \text{ grs de PC} \end{aligned}$$

Sin embargo, en el caso de que la dieta de los equinos sea de forrajes de dudosa o mala calidad, resulta más conveniente trabajar con proteína cruda digestible (PCD) puesto que está limitada la digestibilidad de la proteína.³⁰

Entonces, considerando que la digestibilidad de la proteína cruda de los alimentos para equinos en crecimiento se aproxima al 46 %, el requerimiento de PCD sería:

$$\text{PCD} = \text{PC} * 0.46$$

$$= 466.6 * 0.46$$

$$= 214.63 \text{ grs de PCD.}$$

En el Cuadro 18 se presentan los requerimientos de proteína cruda para mantenimiento y crecimiento normal a diferentes edades y ganancias diarias de peso, de acuerdo con los ritmos de crecimiento normales presentados por Martin-Rosset 2004 ⁸ en equinos cuyo peso a la madurez es de 450. En el rubro de mantenimiento y crecimiento se presentan aproximaciones estimadas a partir de dos ecuaciones distintas. En la primera (BW) el requerimiento está estimado a partir del peso corporal, la GDP y un coeficiente de eficiencia de utilización de la proteína; mientras que en la segunda, se ha estimado a partir del factor de 40 gramos de proteína cruda por mega caloría de energía digestible en lo que se refiere a mantenimiento y 50 gramos en el rubro de crecimiento. ¹⁵ De tal forma que para conocer el requerimiento total de proteína cruda se debe sumar los requerimientos de mantenimiento y crecimiento, obtenidos a partir de la misma ecuación. Sin embargo, como se ha mencionado anteriormente, resulta más conveniente trabajar con proteína cruda digestible por lo que si se toma en cuenta que al menos el 46% de la proteína es digestible, es fácil hacer la conversión de proteína cruda a digestible dividiendo el requerimiento de PC entre el factor 0.46, tal como se menciona en el ejemplo anterior.

Cuadro 18. Requerimientos (g) de proteína cruda para mantenimiento y crecimiento normal a edad, peso y ganancia diaria de peso distintos en caballos con peso vivo adulto promedio de 450 kg.

Edad (meses)	Peso (kg)	GDP (Kg)	Mantenimiento		Crecimiento	
			BW	Fact ED	BW	Fact ED
1	80	1.25	115	225	633	372
2	90	1.25	173	305	633	441
3	160	0.495	230	378	251	201
6	205	0.247	295	455	125	136
9	230	0.247	331	357	156	166
12	255	0.247	367	385	208	173
18	295	0.173	425	430	146	143
24	325	0.189	468	453	159	158
36	395	0.150	569	525	127	109
48	440	0.015	634	569	13	5

GDP, ganancia diaria de peso; BW, peso corporal, Fact ED, factor energía digestible.

El Cuadro 19 presenta los requerimientos de proteína cruda para potros con crecimiento acelerado. De tal forma que, permite hacer la comparación entre el requerimiento necesario para cubrir el crecimiento acelerado y el normal; así, se observa que los requerimientos se incrementan considerablemente. Esto se explica, porque al incrementarse la cantidad de energía necesaria para crecer de forma acelerada, se aumenta proporcionalmente el requerimiento de proteína cruda, de tal forma que este nutriente se encuentre disponible y en cantidad suficiente para llevar a cabo su deposición adecuada en los diferentes tejidos.

Cuadro 19. Requerimientos (g) de proteína cruda para mantenimiento y crecimiento acelerado a edad, peso y ganancia diaria de peso distintos en caballos con peso vivo adulto promedio de 450 kg.

Edad (meses)	Peso (kg)	GDP (Kg)	Mantenimiento		Crecimiento	
			BW	Fact ED	BW	Fact ED
0.5	70	1.2	101	203	608	323
1	90	1.03	130	245	522	307
2	120	1.09	173	305	552	385
3	153	0.8	220	365	405	325
6	225	0.66	324	488	334	363
9	282	0.58	406	416	367	391
12	339	0.45	488	477	380	315
18	395	0.55	569	535	464	456

GDP, ganancia diaria de peso; BW, peso corporal, Fact ED, factor energía digestible.

C) Lisina

La lisina es el aminoácido limitante de mayor importancia en el caballo, su cálculo está en función de la proteína cruda, por lo que, en tanto como se calcule correctamente este nutriente, el requerimiento de lisina se estará ajustando automáticamente. Así entonces, el NRC ¹⁵ sugiere la siguiente ecuación para calcular el requerimiento de lisina:

$$\text{Lisina (g/día)} = \text{PC} * 0.043 \quad (10)$$

D) Calcio

El requerimiento de calcio (Ca) para el caballo en crecimiento, normalmente, se puede calcular utilizando la siguiente ecuación propuesta por el NRC: ¹⁵

$$\text{Ca (g)} = (0.072 * \text{PV}) + (32 * \text{GDP}) \quad (11)$$

Donde: PV= peso vivo en kilogramos, GDP= ganancia diaria de peso en kilogramos

Por ejemplo, un potro de seis meses de edad con un peso de 250 kg y una GDP de 0.655 kg, su requerimiento de Ca se calcula de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}\text{Ca (g)} &= (0.072 * 250) + (32 * 0.655) \\ &= 18 + 20.96 \\ &= 38.96 \text{ gramos de Ca.}\end{aligned}$$

El Cuadro 20 presenta los cálculos de requerimientos de calcio para mantenimiento y crecimiento normal a diferentes edades y ganancias diarias de peso, de acuerdo con los ritmos de crecimiento normales presentados por Martin-Rosset ⁸ en equinos cuyo peso a la madurez es de 450 kg.

Cuadro 20. Requerimientos (g) de calcio para mantenimiento y crecimiento normal a edad, peso y ganancia diaria de peso distintos en caballos con peso vivo adulto promedio de 450 kg.

Edad (meses)	Peso (kg)	GDP (Kg)	Mantenimiento	Crecimiento	Total
1	80	1.25	5.8	40.0	45.8
2	90	1.25	6.5	40.0	46.5
3	160	0.495	11.5	15.8	27.4
6	205	0.247	14.8	7.9	22.7
9	230	0.247	16.6	7.9	24.5
12	255	0.247	18.4	7.9	26.3
18	295	0.173	21.2	5.5	26.8
24	325	0.189	23.4	6.0	29.4
36	395	0.150	28.4	4.8	33.2
48	440	0.015	31.7	0.5	32.2

GDP, ganancia diaria de peso promedio.

Mientras que, el Cuadro 21 presenta las aproximaciones necesarias para cubrir los requerimientos de calcio para crecimiento acelerado, pudiendo observar que el total de los requerimientos, mantenimiento y crecimiento, son considerablemente mayores debido a que se requiere una cantidad mayor de este nutriente.

Por tal motivo, es importante resaltar que del suministro de calcio suficiente en la dieta depende el crecimiento y desarrollo del hueso, de tal forma que se logre el objetivo de producir potros que alcancen su peso adulto promedio antes de los dos años de vida. Sin embargo, esto en la mayoría de los casos no se lleva a cabo, debido a que la mayoría de los criadores aumentan, principalmente, el consumo de energía y proteína dejando de lado nutrientes importantes como los minerales.

Cuadro 21. Requerimientos (g) de calcio para mantenimiento y crecimiento acelerado a edad, peso y ganancia diaria de peso distintos en caballos con peso vivo adulto promedio de 450 kg.

Edad (meses)	Peso (kg)	GDP (Kg)	Mantenimiento	Crecimiento	Total
0.5	70	1.2	5.0	38.4	43.4
1	90	1.03	6.5	33.0	39.4
2	120	1.09	8.6	34.9	43.5
3	153	0.8	11.0	25.6	36.6
6	225	0.66	16.2	21.1	37.3
9	282	0.58	20.3	18.6	38.9
12	339	0.45	24.4	14.4	38.8
18	395	0.55	28.4	17.6	46.0

GDP, ganancia diaria de peso promedio

e) Fósforo

El requerimiento de fósforo (P) que el NRC sugiere para el caballo en crecimiento se calcula utilizando la siguiente ecuación: ¹⁵

$$P \text{ (g/día)} = ((0.018 / 0.45) * PV) + ((8 / 0.45) * GDP) \quad (12)$$

Donde: PV= peso vivo en kilogramos, GDP= ganancia diaria de peso en kilogramos y 0.45= es la eficiencia de absorción

Por lo tanto, para calcular el requerimiento de P al mismo potro de seis meses de edad con un peso de 250 kg y una GDP de 0.655 kg, simplificamos la ecuación (12):

$$\begin{aligned} P \text{ (g/día)} &= ((0.018 / 0.45) * PV) + ((8 / 0.45) * GDP) \\ &= ((0.018 / 0.45) * 250) + ((8 / 0.45) * 0.655) \\ &= (0.04 * 250) + (17.77 * 0.655) \\ &= 10 + 11.64 \\ &= 21.64 \text{ gramos de P por día.} \end{aligned}$$

El Cuadro 22 muestra los requerimientos de fósforo para mantenimiento y crecimiento normal del potro; estos valores están en función del peso y de la GDP. Además, el cálculo de este requerimiento depende de la disponibilidad de absorción de este mineral en el intestino, la cual se estima es del 45%. ¹⁵

Cuadro 22. Requerimientos (g) de fósforo para mantenimiento y crecimiento normal a edad, peso y ganancia diaria de peso distintos en caballos con peso vivo adulto promedio de 450 kg.

Edad (meses)	Peso (kg)	GDP (Kg)	Mantenimiento	Crecimiento	Total
1	80	1.25	3.2	22.2	25.4
2	90	1.25	3.6	22.2	25.8
3	160	0.495	6.4	8.8	15.2
6	205	0.247	8.2	4.4	12.6
9	230	0.247	9.2	4.4	13.6
12	255	0.247	10.2	4.4	14.6
18	295	0.173	11.8	3.1	14.9
24	325	0.189	13	3.4	16.4
36	395	0.150	15.8	2.7	18.5
48	440	0.015	17.6	0.3	17.9

GDP, ganancia diaria de peso promedio.

El requerimiento de fósforo para potros en crecimiento acelerado (Cuadro 23) comparado con el crecimiento normal es aproximadamente el doble al comparar el requerimiento para la misma edad. Por ejemplo, el requerimiento de fósforo para un potro a las 12 meses de edad en crecimiento normal y para otro a la misma edad pero en crecimiento acelerado es de 14.6 y 21.6 gramos, respectivamente.

Cuadro 23. Requerimientos (g) de fósforo para mantenimiento y crecimiento acelerado a edad, peso y ganancia diaria de peso distintos en caballos con peso vivo adulto promedio de 450 kg.

Edad (meses)	Peso (kg)	GDP (Kg)	Mantenimiento	Crecimiento	Total
0.5	70	1.20	2.8	21.3	24.1
1	90	1.03	3.6	18.3	21.9
2	120	1.09	4.8	19.4	24.2
3	153	0.80	6.12	14.2	20.3
6	225	0.66	9.0	11.7	20.7
9	282	0.58	11.28	10.3	21.6
12	339	0.45	13.56	8.0	21.6
18	395	0.55	15.8	9.8	25.6

GDP, ganancia diaria de peso promedio.

Aunque es conveniente cubrir los requerimientos de fósforo durante la etapa de crecimiento, resulta más importante mantener la relación calcio: fósforo adecuada que de acuerdo con NRC¹⁵ es de 1.0:0.6.

F) Magnesio

El requerimiento de magnesio (Mg) para el crecimiento del potro se calcula utilizando la siguiente ecuación: ¹⁵

$$\text{Mg (g/día)} = (0.015 * \text{PV}) + (1.25 * \text{GDP}) \quad (13)$$

Donde: PV= peso vivo en kilogramos, GDP= ganancia diaria de peso en kilogramos

Así entonces, el mismo potro con las mismas características su requerimiento de Mg se calcula de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \text{Mg (g/día)} &= (0.015 * \text{PV}) + (1.25 * \text{GDP}) \\ &= (0.015 * 250) + (1.25 * 0.655) \end{aligned}$$

$$= 3.75 + 0.81$$

$$= 4.56 \text{ grs de Mg.}$$

Los requerimientos de magnesio para mantenimiento y crecimiento normal para potros con un peso adulto promedio de 450 kg aumentan en tanto que el potro va creciendo (Cuadro 24), debido a que este requerimiento está en función del peso y la GDP. Lo que sugiere proporcionar cantidades suficientes de este nutriente para cubrir los requerimientos.

Cuadro 24. Requerimientos (g) de magnesio para mantenimiento y crecimiento normal a edad, peso y ganancia diaria de peso distintos en caballos con peso vivo adulto promedio de 450 kg.

Edad (meses)	Peso (kg)	GDP (Kg)	Mantenimiento	Crecimiento	Total
1	80	1.25	1.2	1.6	2.8
2	90	1.25	1.4	1.6	2.9
3	160	0.495	2.4	0.6	3.0
6	205	0.247	3.1	0.3	3.4
9	230	0.247	3.5	0.3	3.8
12	255	0.247	3.8	0.3	4.1
18	295	0.173	4.4	0.2	4.6
24	325	0.189	4.9	0.2	5.1
36	395	0.150	5.9	0.2	6.1
48	440	0.015	6.6	0.0	6.6

GDP, ganancia diaria de peso promedio.

Por otro lado, el requerimiento de magnesio para crecimiento acelerado (Cuadro 25) no se incrementa considerablemente comparado con las variaciones de otros minerales bajo condiciones de crecimiento normal; sin embargo, se observa que el requerimiento para crecimiento normal a los 48 meses es el mismo que para crecimiento acelerado a los 18 meses. Lo que sugiere que el magnesio al estar en función del peso corporal y la GDP, no importa si el ritmo de crecimiento es

acelerado, el requerimiento es aproximadamente el mismo en ambos ejemplos (normal y acelerado), la diferencia es que para alcanzar el mismo peso requieren la misma cantidad de este nutriente, solo que uno lo alcanza a los 18 meses y el otro hasta los 48 meses.

Cuadro 25. Requerimientos (g) de magnesio para mantenimiento y crecimiento acelerado a edad, peso y ganancia diaria de peso distintos en caballos con peso vivo adulto promedio de 450 kg.

Edad (meses)	Peso (kg)	GDP (Kg)	Mantenimiento	Crecimiento	Total
0.5	70	1.2	1.1	1.5	2.6
1	90	1.03	1.4	1.3	2.6
2	120	1.09	1.8	1.4	3.2
3	153	0.8	2.3	1.0	3.3
6	225	0.66	3.4	0.8	4.2
9	282	0.58	4.2	0.7	5.0
12	339	0.45	5.1	0.6	5.6
18	395	0.55	5.9	0.7	6.6

GDP, ganancia diaria de peso promedio.

G) Potasio

El NRC 2007 estima que la eficiencia de absorción del potasio es del 50%, por lo que, sugiere que el requerimiento de potasio (K) para el caballo en crecimiento se calcule con la siguiente ecuación: ¹⁵

$$K \text{ (g/día)} = (0.05 * PV) + ((1.5 * GDP) / 0.5) \quad (14)$$

Donde: PV= peso vivo en kilogramos, GDP= ganancia diaria de peso en kilogramos

Entonces, el requerimiento de K para el mismo potro se calcula como sigue:

$$K \text{ (g/día)} = (0.05 * PV) + ((1.5 * GDP) / 0.5)$$

$$= (0.05 * 250) + ((1.5 * 0.655) / 0.5)$$

$$= 12.5 + 1.96$$

$$= 14.46 \text{ g/día de K.}$$

En el Cuadro 26 se presentan las estimaciones de potasio equinos para crecimiento normal a diferentes pesos y edades. Mientras que, en el Cuadro 27 muestra los requerimientos necesarios para cubrir la demanda de un potro en crecimiento acelerado.

Cuadro 26. Requerimientos (g) de potasio para mantenimiento y crecimiento normal a edad, peso y ganancia diaria de peso distintos en caballos con peso vivo adulto promedio de 450 kg.

Edad (meses)	Peso (kg)	GDP (Kg)	Mantenimiento	Crecimiento	Total
1	80	1.25	4.0	3.75	7.8
2	90	1.25	4.5	3.75	8.3
3	160	0.495	8.0	1.49	9.5
6	205	0.247	10.3	0.74	11.0
9	230	0.247	11.5	0.74	12.2
12	255	0.247	12.8	0.74	13.5
18	295	0.173	14.8	0.52	15.3
24	325	0.189	16.3	0.57	16.8
36	395	0.150	19.8	0.45	20.2
48	440	0.015	22.0	0.05	22.0

GDP, ganancia diaria de peso promedio.

A pesar de que no se observa un incremento considerable entre ambos ritmos de crecimiento, es necesario cubrir los requerimientos adecuadamente puesto que el potro en crecimiento acelerado llegará a su peso promedio adulto antes de los 24 meses de edad para lo cual necesita incrementar su consumo de nutrientes minerales.

Cuadro 27. Requerimientos (g) de potasio para mantenimiento y crecimiento acelerado a edad, peso y ganancia diaria de peso distintos en caballos con peso vivo adulto promedio de 450 kg.

Edad (meses)	Peso (kg)	GDP (Kg)	Mantenimiento	Crecimiento	Total
0.5	70	1.2	3.5	3.60	7.1
1	90	1.03	4.5	3.09	7.6
2	120	1.09	6.0	3.27	9.3
3	153	0.8	7.7	2.40	10.1
6	225	0.66	11.3	1.98	13.2
9	282	0.58	14.1	1.74	15.8
12	339	0.45	17.0	1.35	18.3
18	395	0.55	19.8	1.65	21.4

GDP, ganancia diaria de peso promedio.

H) Sodio

El requerimiento de sodio (Na) para el crecimiento del potro se calcula utilizando la siguiente ecuación: ¹⁵

$$\text{Na (g/día)} = (0.02 * \text{PV}) + (1.0 * \text{GDP}) \quad (15)$$

Donde: PV= peso vivo en kilogramos, GDP= ganancia diaria de peso en kilogramos

Entonces, el requerimiento de Na para el mismo potro se calcula como sigue:

$$\text{Na (g/día)} = (0.02 * \text{PV}) + (1.0 * \text{GDP})$$

$$= (0.02 * 250) + (1.0 * 0.655)$$

$$= 5 + 0.655$$

$$= 5.65 \text{ grs / día de Na.}$$

Los Cuadros 28 y 29 presentan los requerimientos de sodio para potros con distintos ritmos de crecimiento, normal y acelerado; respectivamente.

Cuadro 28. Requerimientos (g) de sodio para mantenimiento y crecimiento normal a edad, peso y ganancia diaria de peso distintos en caballos con peso vivo adulto promedio de 450 kg.					
Edad (meses)	Peso (kg)	GDP (Kg)	Mantenimiento	Crecimiento	Total
1	80	1.25	1.6	1.25	2.9
2	90	1.25	1.8	1.25	3.1
3	160	0.495	3.2	0.50	3.7
6	205	0.247	4.1	0.25	4.3
9	230	0.247	4.6	0.25	4.8
12	255	0.247	5.1	0.25	5.3
18	295	0.173	5.9	0.17	6.1
24	325	0.189	6.5	0.19	6.7
36	395	0.150	7.9	0.15	8.1
48	440	0.015	8.8	0.02	8.8

GDP, ganancia diaria de peso promedio.

Las diferencias entre ambos valores son mínimas; sin embargo, es importante cubrir estos requerimientos en cantidad adecuada a pesar de que estos no tengan variación significativa, puesto que junto con el cloro y el potasio forman parte del equilibrio electrolítico del caballo y alguna deficiencia en alguno de estos resultaría en complicaciones en la salud; principalmente, en el potro en crecimiento acelerado, el cual comienza con actividad física (entrenamiento) antes de los 24 meses de edad, lo que resulta en pérdidas considerables de electrolitos, los cuales necesitan ser estimados y restituidos adecuadamente.

Cuadro 29. Requerimientos (g) de sodio para mantenimiento y crecimiento acelerado a edad, peso y ganancia diaria de peso distintos en caballos con peso vivo adulto promedio de 450 kg.

Edad (meses)	Peso (kg)	GDP (Kg)	Mantenimiento	Crecimiento	Total
0.5	70	1.2	1.4	1.20	2.6
1	90	1.03	1.8	1.03	2.8
2	120	1.09	2.4	1.09	3.5
3	153	0.8	3.1	0.80	3.9
6	225	0.66	4.5	0.66	5.2
9	282	0.58	5.6	0.58	6.2
12	339	0.45	6.8	0.45	7.2
18	395	0.55	7.9	0.55	8.5

GDP, ganancia diaria de peso promedio.

I) Cloro

El requerimiento de cloro (Cl) para el crecimiento del potro se calcula utilizando la siguiente ecuación: ¹⁵

$$\text{Cl (g/día)} = (0.08 * \text{PV}) + (0.013 * \text{PV}) \quad (16)$$

Donde: PV= peso vivo en kilogramos

Entonces, el requerimiento de Cl para el mismo potro se calcula como sigue:

$$\begin{aligned} \text{Cl (g/día)} &= (0.08 * \text{PV}) + (0.013 * \text{PV}) \\ &= (0.08 * 250) + (0.013 * 250) \\ &= 20 + 3.25 \\ &= 23.25 \text{ grs / día de cloro.} \end{aligned}$$

De igual forma que para los otros electrolitos (Na y K), en el Cuadro 30 Se presentan los requerimientos de cloro necesarios para cubrir el mantenimiento y crecimiento en el potro en crecimiento normal; por otro lado, el Cuadro 31 muestra el incremento de los requerimientos de Cl con un ritmo de crecimiento acelerado.

Edad (meses)	Peso (kg)	GDP (Kg)	Mantenimiento	Crecimiento	Total
1	80	1.25	6.4	0.0	6.4
2	90	1.25	7.2	0.0	7.2
3	160	0.495	12.8	0.0	12.8
6	205	0.247	16.4	0.0	16.4
9	230	0.247	18.4	0.0	18.4
12	255	0.247	20.4	0.0	20.4
18	295	0.173	23.6	0.0	23.6
24	325	0.189	26.0	0.0	26.0
36	395	0.150	31.6	0.0	31.6
48	440	0.015	35.2	0.0	35.2

GDP, ganancia diaria de peso promedio.

Aunque aparentemente el requerimiento en el rubro crecimiento para ambos ritmos de crecimiento son mínimos, cercanos a cero, el total del requerimiento presenta un ligero incremento debido a que la estimación de este nutriente está en función del peso y mientras que un potro a los 18 meses de edad tiene un peso de 295 kg, el otro a la misma edad tiene un peso de 395 kg, incrementando su requerimiento en un 35 por ciento, aproximadamente.

Cuadro 31. Requerimientos (g) de cloro para mantenimiento y crecimiento acelerado a edad, peso y ganancia diaria de peso distintos en caballos con peso vivo adulto promedio de 450 kg.

Edad (meses)	Peso (kg)	GDP (Kg)	Mantenimiento	Crecimiento	Total
0.5	70	1.2	5.6	0.0	5.6
1	90	1.03	7.2	0.0	7.2
2	120	1.09	9.6	0.0	9.6
3	153	0.8	12.2	0.0	12.3
6	225	0.66	18.0	0.0	18.0
9	282	0.58	22.6	0.0	22.6
12	339	0.45	27.1	0.0	27.1
18	395	0.55	31.6	0.0	31.6

GDP, ganancia diaria de peso promedio.

J) Microminerales

Los requerimientos de los elementos traza o microminerales están expresados en miligramos por kilogramo de materia seca (MS) de alimento. Esta aproximación es adecuada siempre y cuando se tomen en cuenta los límites de consumo para cada estado fisiológico y de producción sugeridos por el NRC.¹⁵ Por supuesto, el total en kilogramos de materia seca va a depender de los requerimientos de energía digestible y del valor nutritivo del alimento en cuestión. En el Cuadro 32 se presenta la cantidad de microminerales para mantenimiento y crecimiento necesarios (mg) por kg de MS consumida por el animal.

Los distintos requerimientos presentados en el Cuadro 32 son los propuestos por el NRC 2007 y el KER 2000.^{15 46} Las estimaciones ambos son resultado de mediciones constantes en los animales; así como, del análisis de datos de estudios hechos a través del tiempo.

Cuadro 32. Requerimientos (mg) de microminerales por kg de materia seca para caballos en mantenimiento y crecimiento				
	Mantenimiento		Crecimiento	
	NRC	KER	NRC	KER
Fe	40	40	50	40-50
Mn	40	40-50	40	60-80
Cu	10	10-15	10	20-30
Co	0.05	-	-	-
Zn	400	-	-	-
Cr	-	0.1-0.3	-	0.3-0.4
Se	0.1	0.1-0.3	0.1	0.2-0.3
I	0.1-0.6	0.1-0.2	0.1-0.6	0.15-0.25

GDP, ganancia diaria de peso; NRC, 2007 National Research Council; KER,2000 Kentucky Equine Research

K) Vitamina A

El requerimiento de vitamina A para el crecimiento del potro se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Vitamina A (UI/día)} = (30 * \text{PV}) + (45 * \text{PV}) \quad (17)$$

Donde: PV= peso vivo en kilogramos

Entonces, el requerimiento de vitamina A para el mismo potro se calcula como sigue:

$$\begin{aligned}\text{Vitamina A (UI/día)} &= (30 * \text{PV}) + (45 * \text{PV}) \\ &= (30 * 250) + (45 * 250) \\ &= 7'500 + 11'250 \\ &= 18'750 \text{ UI / día de vitamina A.}\end{aligned}$$

L) Vitamina E

El requerimiento de vitamina E para el crecimiento del potro se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Vitamina E (UI/día)} = (1.0 * \text{PV}) + (2.0 * \text{PV}) \quad (18)$$

Donde: PV= peso vivo en kilogramos

Entonces, el requerimiento de vitamina E para el mismo potro se calcula como sigue:

$$\begin{aligned}\text{Vitamina E (UI/día)} &= (1.0 * \text{PV}) + (2.0 * \text{PV}) \\ &= (1.0 * 250) + (2.0 * 250) \\ &= 250 + 500 \\ &= 750 \text{ UI / día de vitamina E.}\end{aligned}$$

Cuadro 33. Recomendaciones diarias de vitaminas para potros y caballos con diferente actividad física por cada 100 kg de peso vivo.

Vitamina	Potros	Caballos de Silla	Caballos de Alto rendimiento
Vitamina A, UI	10'000 – 12'000	6'000 – 8'000	12'000 – 15'000
Vitamina D, UI	1'000 – 1'200	600 – 800	1'200 – 1'500
Vitamina E, mg	100 – 120	60 - 80	200 – 300
Vitamina K, mg	3	2	3
Tiamina, mg	8 – 10	6 – 8	8 – 12
Riboflavina, mg	8 - 12	6 – 8	8 – 12
Vitamina B₆, mg	6	4	6
Vitamina B₁₂, µg	60 – 80	50 – 70	60 – 80
Biotina, µg	200 – 300	200	200 – 300
Folacina, mg	6	4	8
Niacina, mg	10 – 20	10 – 15	15 – 25
Á. pantoteico, mg	8 – 10	6 – 8	10 – 12
Colina, mg	150 – 250	150 – 250	300 – 400
Vitamina C, mg	200	100	200 – 300
β- Carotenos, mg		-	400 – 500+

Adaptado de Crandell K ¹⁴⁵ KER, Kentucky Equine Research

Existen también factores (Cuadro 33) para estimar los requerimientos diarios de vitaminas por cada 100kg de peso vivo; de tal forma que, utilizar estas recomendaciones propuestas por KER 2000 ¹⁴⁵ resulta más conveniente debido a que se estará cubriendo los requerimientos evitando consecuencias que comprometan la salud del animal por deficiencias o excesos.

Las recomendaciones de vitaminas propuestas por el NRC sugieren valores para caballos en crecimiento desde los 4 meses de edad hasta los 24 meses. ¹⁵

Los requerimientos recomendados por BASF The Chemical Company (BASF) son mayores comparados con los propuestos por el NRC (Cuadro 33), quizás porque las estimaciones hechas por BASF solo manejan en una sola categoría todos los animales en crecimiento sin importar a edad; mientras que, las recomendaciones del NRC agrupan a los animales en crecimiento en distintas edades.¹⁵

3.5.3 Consideraciones especiales para el potro huérfano

El manejo nutricional del potro huérfano depende principalmente de la edad a la que este pierde a su madre; en términos generales, aquellos que quedan huérfanos a temprana edad deben ser alimentados con leche principalmente asegurando el crecimiento y desarrollo satisfactorio; mientras que, a los potros que pierden semanas después del nacimiento, el objetivo es proporcionar dietas basadas en forrajes de calidad nutritiva y concentrados comerciales.

Tal como se ha mencionado, aquellos potros que quedan huérfanos desde el primer día de vida es importante considerar el suministro de calostro que contenga las inmunoglobulinas necesarias para desarrollar la capacidad del sistema inmune; estas son absorbidas por células especializadas a través del epitelio intestinal, este proceso de absorción es altamente eficiente durante las primeras horas de vida mostrando una reducción en la absorción a las 12 horas posparto.

A las 24 horas, el intestino pierde la capacidad de absorber intactas las inmunoglobulinas;¹⁵ de tal forma que, antes de suministrar cualquier sustituto lácteo, se debe asegurar la inmunidad pasiva del neonato a través del calostro.¹⁴⁶

Por otro lado, el contenido de inmunoglobulinas en el calostro disminuye con el tiempo, en tanto que el potro inicia a consumirlo; así que, considerar la alternativa

de colección de calostro en una yegua para ser suministrado a un potro huérfano debe hacerse lo antes posible, idealmente, durante las primeras 3 horas posparto, ya que de las 4-8 horas posparto el contenido de inmunoglobulinas tan solo es del 15% del total.¹⁴⁷

Idealmente, la adopción es la mejor alternativa en el manejo del potro huérfano menor de 6 – 8 semanas de edad; aunque no siempre es posible, resulta conveniente tratar de utilizar otra yegua con el potencial de producción lácteo suficiente para criar a dos potros. Aquellos potros que no hayan sido adoptados, deberán obtener los nutrientes a través de sustitutos lácteos para caballos.

Actualmente, existen en el mercado formulas lácteas hechas con leche de vaca y cabra, la composición nutritiva de estos sustitutos debe ser similar a la leche materna de la yegua (Cuadro 34).¹⁴⁸

Cuadro 34. Composición química de la leche de la yegua a distintas semanas posteriores al parto

Tiempo después del parto	Energía Bruta (Kcal/100g)	Proteína %	Grasa %	Lactosa %	Ca (µg/g)	P (µg/g)
1 semana	61	2.4	2.5	6.3	1350	460
4 semanas	55	2.1	2.0	6.6	1180	420
8 semanas	49	2.1	1.3	6.7	970	360
16 semanas	42	1.6	0.6	6.9	-	-
32 semanas	41	1.6	0.4	6.9	-	-

Modificado del NRC 2007, Doreau *et al* 1990, Mariani *et al* 2001

En términos de base seca, los sustitutos comerciales se deben suministrar en soluciones del 10-20 % y su contenido nutricional es aproximadamente 15, 22 y 0.5 % de grasa, proteína cruda y fibra, respectivamente.^{148, 15} Sin embargo, estos sustitutos comerciales al ser reconstituidos tienen mayor contenido energético que la leche natural de la yegua, por lo que existe el riesgo de sobrealimentar al potro y conducir al desarrollo de enfermedades músculo-esqueléticas durante el crecimiento.⁹ Además, la energía presente en las etiquetas de estos sustitutos no siempre está bien determinada, por lo tanto, resulta difícil estimar el aporte de energía bruta de la leche en el campo, teniendo que recurrir a análisis químicos en el laboratorio, lo cual resulta poco práctico y tardado. Por lo tanto, es importante considerar y evaluar frecuentemente los parámetros productivos verificando que el aporte nutricional no esté siendo subestimado o sobreestimado; por tal razón, existen cuadros de referencia (Gro-trac) en el mercado que sugieren el peso y la alzada que debe tener el potro según su raza para evaluar el ritmo de crecimiento del potro huérfano.⁹

A pesar de la existencia de la leche natural de vaca, cabra, cerda y oveja como alternativa en la alimentación del potro lactante, no es recomendable alimentarlo con estos productos, ya que su composición nutricional es muy distinta al de la yegua. Por tal razón, siempre es recomendable utilizar sustitutos comerciales para caballos en la alimentación del potro huérfano;¹⁵ aunque, ocasionalmente, otra opción es la utilización de leche de vaca descremada agregando azúcar a razón de 20 g/L.¹⁴⁸

Además, se recomienda que el volumen de consumo se maneje de la siguiente manera: en un periodo de 7-10 días, empezar con 5-10 % del peso vivo el día 1 hasta llegar a 20-25% del PV al día 10. Inicialmente, se debe alimentar con

cantidades pequeñas en muchas tomas al día, tal como lo hace de forma natural el potro; es decir, cada hora y en tanto como el potro inicie el consumo de alimento sólido reducir gradualmente la frecuencia de alimentación.^{15, 148} Otra alternativa es proporcionar a libre acceso el sustituto lácteo en una cubeta o en algún dispositivo de alimentación automático.

Al potro huérfano es recomendable destetarlo a las 10-12 semanas de vida.^{148, 15}

En términos de producción, existen trabajos que indican que potros alimentados con estos sustitutos comerciales presentaran un ritmo de crecimiento similar al de aquellos que son alimentados naturalmente.^{149, 150, 151}

En resumen, la estimación de los requerimientos nutricionales del potro huérfano se hace de la misma forma que para cualquier animal mamífero, la diferencia radica en ser incisivo en el consumo y aprovechamiento de los nutrientes proporcionados mediante sustituto lácteo, asegurando el crecimiento adecuado de los tejidos.

3.6 Enfermedades comunes en potros por fallas nutricionales durante el crecimiento

3.6.1 Sistema músculo esquelético

Actualmente, las actividades deportivas o recreativas en las que participan los caballos han motivado un incremento en la producción equina (potros); por tal razón, el criador interesado en alcanzar la meta productiva debe producir potros capaces de satisfacer las exigencias del mercado y con los menores problemas clínicos posibles; esto es, acelerando el crecimiento del animal para lo cual se apoya modificando e incrementando los requerimientos nutricionales, con resultados no siempre exitosos. La consecuencia de estos desaciertos nutricionales es la aparición de algunas enfermedades del sistema músculo esquelético durante el crecimiento. La etiología de cualquiera de estas es variable; sin embargo, comparten la característica de presentarse durante el crecimiento y desarrollo de los animales o en aquellos alimentados con cierto grado de deficiencia nutricional comprometiendo el crecimiento y maduración normal de los tejidos que forman el aparato locomotor; por ejemplo, el proceso de conversión de cartílago a hueso.⁹⁹

En el Cuadro 35, se muestra la edad promedio con la que se detectan estas enfermedades del sistema músculo esqueléticas asociadas al crecimiento acelerado del caballo; así como, los sitios o regiones anatómicas donde se presenta con mayor frecuencia las lesiones.

Cuadro 35. Edad promedio a la que se detecta por primera vez el síndrome de osteocondrosis, el sitio, la articulación y el tipo de lesión.

Articulación	Sitio	Tipo de lesión	Edad de 1ª detección (meses)
Babilla	Cresta lateral de la tróclea del fémur	Fisura Fragmentación	Antes de los 3 Con frecuencia 6 -18
Babilla	Cóndilo medial del fémur	Quistes	Cualquier edad
Babilla	Cresta medial de la tróclea del fémur	Fisuras	6 – 12
Corvejón	Cresta distal intermedia	Fragmentación	1 - 3
Corvejón	Maleólo medial	Pequeños fragmentos	6 - 9
Corvejón	Tarso central y T3	Retraso en la osificación	1
Menudillo	MT3, MC3	Fragmentación	3 - 5
Menudillo	Cóndilos mediales de MT3, MC3	Fragmentación	12 - 24
Carpo	C _i , C _u , C ₃ , C ₄	Retraso en la osificación	0 - 1
Codo	Cóndilo medial húmero Radio proximal	Quistes	9 - 12
Hombro	Fosa glenoidea Cabeza del húmero	Fragmentación	9 - 12
Cuartilla	Cóndilo medial de la falange proximal	Quistes	9 - 12

T3, tercer hueso del tarso; MT3, tercer metatarsiano; MC3, tercer metacarpiano; C_i, carpo intermedio; C_u, carpo ulnar; C₃, tercer hueso del carpo; C₄, cuarto hueso del carpo
Adaptado de McIlwraith, 1996¹⁵²

Ciertamente, la causa primaria es conducir el crecimiento del animal aceleradamente; sin embargo, existen otros factores que favorecen su presentación: el ejercicio intenso, los cambios hormonales y la predisposición genética de algunas razas.⁹⁹

No obstante que la prevalencia es superior al 50%,^{152, 153} es común observar que el criador e incluso el veterinario resta importancia al plano nutricional como causa principal de estas enfermedades.

A) Osteocondrosis (OC)

La osteocondrosis es un problema común, representa para la actividad ecuestre pérdidas económicas considerables por concepto de tratamientos médicos.⁹ Es considerado un síndrome que se origina por una falla en el proceso de osificación endocondral del tejido óseo, la cual causa una lesión primaria en el cartílago articular resultando en la formación de un núcleo bien localizado en el cartílago que progresivamente dañara al hueso subcondral, al cartílago y fragmentará el hueso y en casos más severos estos fragmentos se desprenden y se localizaran en la cavidad sinovial causando mucho dolor y claudicación.¹⁵²

Por otro lado, resulta difícil describir los signos clínicos debido a que los sitios dañados en ocasiones son más de uno; sin embargo, el más característico es observar la distensión no dolorosa de la articulación afectada; por ejemplo, gonítis (inflamación de la babilla) o esparaván blando. A pesar de la dificultad que representa el hallazgo de signos clínicos típicos de esta enfermedad, se pueden clasificar en 2 categorías:

- 1) Los que se presentan antes de los 6 meses
- 2) Aquellos que se presentan después de los 6 meses.

Frecuentemente, el primer signo clínico es observar al potro permanecer más tiempo recostado, inflamación articular y dificultad para permanecer de pie. La

osteocondrosis de la región del menudillo se observa particularmente en animales de menos de seis meses de edad.⁴⁶

No obstante el daño severo ocasionado en cualquier articulación, los signos de claudicación no son comunes en la osteocondrosis. Por ejemplo, las lesiones en la región del hombro producen claudicación de moderada a severa, atrofia muscular y dolor a la flexión; mientras que, los quistes en el hueso subcondral ahora son considerados osteocondrosis ocasionados por traumatismos en el cóndilo medial del fémur ocasionando una claudicación severa, incluso, sospechando de fractura.⁹⁹

Los signos clínicos en animales mayores de un año son la rigidez de la articulación afectada, respuesta positiva a la flexión y la claudicación en diversos grados; aunque, el inicio del entrenamiento físico es considerado el factor detonante, es probable que la lesión haya estado antes sin haber causado signos clínicos evidentes.⁹⁹

Determinar la causa primaria resulta difícil, es necesario evaluar la existencia de alguna alteración durante el proceso de osificación endocondral.⁹⁹

En el Cuadro 36, se presentan distintos factores que favorecen la presentación de osteocondrosis en equinos durante el crecimiento; de tal forma que, realizar la evaluación de cada factor resulta ideal en la prevención o detección oportuna de esta patología.

Cuadro 36. Factores que favorecen la presentación del Síndrome de Osteocondrosis en equinos.

Tasa de crecimiento: peso y alzada

Nutrición: sobrealimentación, desequilibrio mineral y toxicidad

Alteraciones metabólicas

Hereditario / Predisposición genética

Exceso de ejercicio y entrenamiento

Modificado de Jeffcott, 2004

B) Fisítis

La fisítis es una manifestación del crecimiento anormal en las placas de crecimiento óseo; este crecimiento anormal es consecuencia de fallas durante el proceso de osificación endocondral (maduración de condrocitos), debilitando la integridad estructural de la metáfisis ósea (osteocondrosis), ocasionando: fisuras, quistes, microfracturas y dolor, sobre todo a medida que el peso del potro aumenta.^{99, 152}

Es común encontrar animales con fisítis ligado a la forma articular más común de osteocondrosis o en aquellos ejemplares que en el pasado presentaron cierto grado de osteocondrosis. Sin embargo, no todos los animales con fisítis desarrollaran manifestaciones articulares de osteocondrosis; esto es, debido a la composición natural del cartílago articular y de la epífisis, puesto que ambas poblaciones de condrocitos son fenotípicamente totalmente diferentes entre sí.¹⁵²

El sitio predilecto donde se presenta esta enfermedad son las placas de crecimiento del metacarpo distal, metatarso, radio y tibia; causando cierto grado de claudicación y dolor.^{99, 152}

Los animales menores a 2 meses son los más susceptibles; la incidencia máxima ocurre al destete; mientras que, el segundo grupo más afectado son aquellos que inician actividad física intensa y prematura.¹⁵³

Probablemente, se observe con mayor frecuencia en potros de raza Pura Sangre Inglés; a pesar de que esta condición es auto-limitante y normalmente desaparece en tanto que los núcleos o placas de crecimiento cierran por completo, en ocasiones aparece junto con otras enfermedades como las deformidades angulares y la contractura de tendones, complicando el pronóstico del animal.¹⁵³

Las causas a esta enfermedad están relacionadas entre sí, particularmente, resultado de excesos en el aporte de nutrientes (energía), incrementando la velocidad de crecimiento del animal; también, los traumatismos y la predisposición genética son causas importantes a considerar.⁹⁹

La fisitis puede estar presente en potros con síndrome de Wobbler, hecho que sugiere que ambas enfermedades pueden ser consideradas como osteocondrosis.^{154, 155} Sin embargo, resulta más apropiado considerar la fisitis como una enfermedad del sistema músculo esquelético durante el desarrollo.

C) Desviaciones Angulares

A pesar de que el potro recién nacido presenta cierto grado de desviación angular en alguno o algunos miembros del aparato locomotor, estas no tienen importancia clínica y desaparecen durante las siguientes 2 semanas de vida.¹⁵⁷

Sin embargo, existen otro tipo de desviaciones angulares atribuibles a cualquiera de las siguientes condiciones: articulaciones muy laxas, fallas en la osificación endocondral en los huesos del carpo o tarso (osteocondrosis), problemas de

conformación, crecimiento longitudinal asincrónico y traumatismos o fracturas de alguno de los huesos del carpo y de las físis.^{152, 157}

Ciertamente, esta condición o defecto se describe como el crecimiento longitudinal de los huesos largos causando cierto grado de desviación anormal del o los miembros hacia fuera del plano sagital, tanto en dirección medial como lateral.¹⁵³ De tal forma que, la desviación de la porción distal del miembro en dirección medial se le conoce como desviación en *varus*; mientras que, si está en dirección opuesta se nombra, desviación en *valgus*.^{152, 158}

Existen varios factores responsables de la desviación de algunos miembros, dentro de los que destacan: inmadurez ósea (osteochondrosis), crecimiento acelerado, laxitud articular y traumatismos en las placas de crecimiento.¹⁵⁶

No obstante, el crecimiento asincrónico de las placas de crecimiento localizadas entre la diáfisis y las epífisis de los huesos largos es la principal causa de estas desviaciones; en ocasiones, la existencia de diversos factores que alteren la presión normal ejercida sobre estos núcleos, favorece el crecimiento irregular del hueso. Algunos factores que alteran y dañan este crecimiento son: el exceso de masa muscular, el ejercicio intenso y vigoroso, la claudicación del miembro opuesto y las fallas en el proceso de osificación endocondral.⁹⁹

La región que presenta con mayor frecuencia las desviaciones angulares es la del carpo o la porción distal del metacarpo y en menor grado el metatarso.¹⁶⁰

D) Colapso del Hueso del tarso (osteochondrosis)

El colapso del hueso del tarso se observa comúnmente en animales jóvenes y está asociado a fallas en el proceso de deposición mineral durante el crecimiento lo cual

afecta el proceso de osificación reblandeciendo (osteocondrosis) el hueso dando origen el colapso dorsal del tarso central y/o del tercer hueso del tarso causando deformidad del corvejón. Clínicamente, se observa el corvejón inflamado con efusión, dolor y cierto grado de mala angulación. Por otro lado, no es común observar claudicación a esta etapa; sin embargo, se observa rigidez del tren posterior durante el movimiento del caballo.^{99, 152}

El diagnóstico es radiográfico observando en uno o ambos miembros los huesos del tarso colapsados (osteocondrosis), con poca densidad ósea y colapso progresivo de la porción craneal del tarso central y del tercer hueso del tarso, alteración que puede producir fragmentación de los huesos afectados y posteriormente desprendimiento de estos fragmentos al espacio sinovial.^{99, 152, 161}

Frecuentemente, pasa desapercibido debido que se presenta en el neonato, pero comienza a ser evidente en cuanto el potro comienza a realizar actividad física intensa, observando cierto grado de claudicación o dificultad al caminar. Además, es común observar la existencia de enfermedad articular secundaria acompañada de colapso en los espacios articulares y el hallazgo de tejido óseo periarticular.⁹⁹

E) Síndrome de Wobbler

El síndrome de Wobbler o malformación de las vertebrales cervicales es la presentación de cierto grado de estenosis en el canal vertebral en la porción cervical causando compresión de la médula espinal.¹⁶²

Es común observarla en animales de entre 1 y 4 años de edad; sin embargo, existen trabajos hechos en caballos Pura Sangre Inglés en Estado Unidos de Norteamérica que señala la posibilidad de aparecer entre los 3 y 12 meses de edad.¹⁵⁶

Las lesiones causadas por esta malformación son de curso agudo o crónico; además, los animales afectados desarrollan incoordinación en los miembros posteriores e incluso de todos los miembros y son positivos al signo de wobbler.¹⁵⁵

De acuerdo con Cain 1993,¹⁶³ los animales con esta anomalía nacen con cierto grado de estenosis en el canal vertebral; de tal forma que, sumado al crecimiento acelerado favorece la mala alineación, disminuyendo el espacio en el canal comprimiendo la médula fácilmente.

De acuerdo con Donawick 1989, existe una alta correlación entre las fases de sobrealimentación y la incidencia del síndrome de Wobbler en los potros de raza Pura Sangre Inglés con crecimiento acelerado;¹⁶⁴ por lo que, debe evaluarse la condición corporal constantemente en animales sospechosos a malformaciones vertebrales.¹⁵²

Adicionalmente, el ejercicio más el consumo excesivo de nutrientes inducen necrosis del cartílago articular vertebral; por lo que, el crecimiento constante del cartílago sin osificación (osteocondrosis) resulta en la estenosis del canal vertebral y en consecuencia la compresión de la médula ósea.¹⁶⁴

La relación que existe entre la osteocondrosis y la malformación vertebral cervical (CVM) se ha demostrado al reproducir animales afectados con estas malformaciones cervicales y en consecuencia, la obtención de potros con una alta incidencia de osteocondrosis, fisitis y otras deformidades durante el crecimiento. Ambas alteraciones, las malformaciones vertebrales y la osteocondrosis, son comunes en animales con crecimiento acelerado de razas pesadas.¹⁵² Sin embargo, la susceptibilidad que existe de lesionarse los centros de crecimiento en las vertebrales durante su desarrollo no descarta que el origen sea la forma dinámica

de la región; por lo que, actualmente, no se considera que fallas en el proceso de osificación endocondral sea característico de estas malformaciones. Por lo tanto, CVM no parece pertenecer *per se* al síndrome de osteocondrosis y debe ser considerada como enfermedad músculo esquelética del desarrollo (DOD).¹⁵²

F) Anormalidades vertebrales adquiridas

La presentación de estas anormalidades son menos frecuentes comparado con las anteriores; sin embargo, también están asociadas con el crecimiento acelerado consecuencia del consumo excesivo de energía, por lo que el animal aumenta rápidamente su peso corporal aún cuando los huesos no están lo suficientemente maduros para soportar tanto peso.

Dentro de estas anormalidades adquiridas, la xifosis es la más común, se presenta poco después del destete, se caracteriza por el crecimiento acelerado de las vertebrae toraco-lumbares; si se detecta oportunamente, puede haber mejoría. Sin embargo, a pesar de hacer correcciones, en la mayoría de los casos permanece cierto grado de xifosis y rigidez, predisponiendo al animal al padecimiento enfermedades de espalda en un futuro.⁹⁹

Otra anomalía vertebral adquirida durante el crecimiento es la lordosis; la cual es un problema congénito exacerbado a medida que el potro crece.⁹⁹

G) Contracción de tendones

La contracción de tendones es la alteración de la unidad funcional músculo-tendinoso de cualquier extremidad, evitando la alineación normal del eje podal falángico. Sin embargo, la lesión primaria no necesariamente involucra exclusivamente el tendón, pudiendo llegar a observarse en tejido conectivo.⁹⁹

De acuerdo con el origen de esta enfermedad se clasifican en congénitas o adquiridas; esta última, considerada como enfermedad musculoesquelética del desarrollo.⁹⁹

Tal como se ha mencionado, la contracción de los tejidos blandos (tendones flexores) y su relativo acortamiento durante el crecimiento resultan en las bien conocidas deformidades de las articulaciones interfalángica distal y metacarpo-falángica (región del menudillo).¹⁵²

El exceso o deficiencia de nutrientes como la energía, la proteína y los minerales durante el crecimiento es la principal causa de estas deformidades.¹⁶⁴

Cuadro 37. Causas más comunes que ocasionan la aparición de Enfermedades Musculoesqueléticas del desarrollo (DOD)

Causa	Ejemplo
Crecimiento acelerado	Caballos cuartos de Milla al destete con GDP de 1.05kg/día, en lugar de 0.67kg/día.
Traumatismos	Exceso de ejercicio que aumente el estrés o presión sobre los sitios donde ocurre el crecimiento óseo.
Predisposición genética	Predisposición a aumentar de peso rápidamente en potros que presentan mala conformación.
Desbalances Nutricionales	Exceso de energía en la dieta
	Deficiente aporte proteico en la dieta
	Cambios en la relación Ca : P
	Alimentar con mucho grano de cereales Permitir a los potros destetados acceso sin control a la alfalfa u otras leguminosas con altos niveles de energía. Alimentar con mezcla de granos con proporciones inadecuadas de cobre y zinc.

Adaptado de Lewis LD. 1995.¹⁶⁷

Por otro lado, se ha sugerido que esta deficiencia o exceso de nutrientes más el ejercicio favorecen daños durante el desarrollo y la maduración de los tendones y ligamentos; por lo que, nunca debe reducirse el consumo de nutrientes arbitrariamente mientras el ejercicio es abundante. ^{165, 166}

En resumen, en el Cuadro 37 se presentan las causas más comunes que ocasionan la aparición de las enfermedades músculo-esqueléticas durante el crecimiento del potro; también, se muestra un ejemplo a cada causa presentada.

3.6.2 Enfermedades Metabólicas

A) Hiperparatiroidismo Nutricional Secundario

El Hiperparatiroidismo nutricional secundario es una enfermedad metabólica de los huesos asociada a la alimentación con dietas ricas en fósforo o deficientes en la disponibilidad de calcio. ¹⁵ Los animales más susceptibles son los recién destetados y hasta los 7 años de vida. ¹⁵

Los primeros signos de esta enfermedad son claudicación en uno o más miembros, debilidad en articulaciones, renuencia a caminar y movimientos rígidos durante el paso. Todos estos signos son consecuencia de la desmineralización del tejido óseo resultando en el desarrollo de microfracturas, pérdida de la integridad del hueso trabecular con ruptura del cartílago articular y contracción o luxación de tendones y ligamentos. ^{15, 167}

En casos avanzados, fracturas súbitas frecuentemente en los sesamoideos y falanges. Además, los huesos faciales son en los que se observa fácilmente la lesión; el contenido mineral es sustituido por tejido fibroso, proceso llamado osteodistrófia, comúnmente, llamado “abombamiento de la cara” o “cara mofletuda”.

15

La prevalencia de esta enfermedad en países desarrollados es casi nula; sin embargo, en México es común encontrar casos, resultado de errores en el manejo nutricional consecuencia de dietas basadas en salvado de trigo causando un desbalance en la proporción calcio: fósforo. ¹⁵

En términos generales, los factores nutricionales que favorecen la presentación de esta enfermedad son el consumo de alimentos con contenidos mayoritarios de fósforo y pobres en calcio o desequilibrio en la proporción ideal entre estos dos nutrientes. Algunas de las prácticas alimenticias causantes de esta enfermedad son:

- 1) Consumo excesivo de cereales, los cuales tienen una proporción de calcio: fósforo de 1:6.
- 2) Consumo de forrajes maduros.
- 3) Exceso de salvado de trigo en la dieta.
- 4) Presencia de oxalatos en la dieta, los cuales reducen la disponibilidad de calcio.

Los signos clínicos antes mencionados son el resultado de la secreción continua de la hormona paratiroidea (PTH) estimulando la movilización del calcio localizado en los huesos con el objetivo de mantener los niveles séricos de este contrarrestando el estado de hipocalcemia,^{15, 167} causado por desbalances en la relación calcio y fósforo; además, las mediciones séricas de estos minerales no son útiles en la

detección de la enfermedad; por lo que, es aconsejable frecuentemente evaluar la relación de ambos minerales en la dieta suministrada al animal.

Tal como se ha mencionado, las causas de esta enfermedad son relacionadas, principalmente, al consumo de dietas mal equilibradas en ambos minerales; el caballo en crecimiento, no es la excepción. De tal forma que, animales recién destetados aumentan el consumo de alimento sólido, generalmente, proporcionando arbitrariamente ingredientes elevados en fósforo; por ejemplo, los granos de cereales, los concentrados comerciales y algunos pastos tropicales. Además, en México existe la creencia de que alimentar al caballo con salvado de trigo reduce la presentación de cólico, lo que resulta en el desbalance entre el calcio y fósforo. De tal forma que es aconsejable hacer la evaluación de la dieta ofrecida al animal cada vez que se ajuste, verificando que la relación Ca: P se mantenga dentro del rango sugerido (1: 0.6).^{15, 167}

Algunas recomendaciones para solucionar estos problemas son la evaluación constante de la relación entre el calcio y fósforo, eliminar ingredientes que contengan oxalatos y la suplementación de calcio.^{15, 167}

B) Síndrome Metabólico Equino: obesidad y resistencia a la insulina

El término “síndrome metabólico equino” ha sido adoptado para describir un conjunto de signos clínicos que favorecen el desarrollo o la presentación de la laminitis. Actualmente, ciertos factores son necesarios para hablar de este síndrome como: resistencia a la insulina, obesidad y laminitis.¹⁶⁸

La clave en la prevención o en el diagnóstico oportuno de esta enfermedad es observar la condición corporal del caballo; fácilmente referido por propietarios como ejemplares que fácilmente acumulan grasa en alguna parte del cuerpo. ¹⁶⁸

De acuerdo con Frank 2007, las razas más afectadas son Morgan, Paso Fino, Árabe, Cuarto de Milla, Saddlebred, Pura Sangre Inglés y Warmblood. ¹⁶⁸ El inicio de este síndrome es desde el nacimiento hasta los 3 o 4 años de edad; sin embargo, es hasta después de los 5 años cuando se detecta los primeros signos de laminitis; esto es, el caballo debe permanecer con obesidad por varios años hasta el desarrollo de la resistencia a la insulina. ¹⁶⁸

Actualmente, no existe una definición aceptada para la obesidad en caballos; de acuerdo con la escala de condición corporal desarrollada por Henneke *et al* 1983, ¹⁷⁰ aquellos con una calificación de 8 o 9 son considerados obesos, mientras que, los que se encuentran en una condición corporal de 7 solo tienen sobrepeso. ¹⁷⁰

En el caballo existe una íntima relación entre la acumulación de grasa en alguna región corporal y la presentación de esta enfermedad.

Las funciones metabólicas de la insulina son mantener la homeostasis de la glucosa sanguínea y promover su utilización eficiente, estimula la síntesis de glucógeno en el tejido muscular y el hígado, simultáneamente, inhibe la gluconeogénesis en el hígado permitiendo la regulación de los niveles sanguíneos de glucosa. ¹⁷¹

Con respecto a las funciones de la insulina sobre el metabolismo de la glucosa, el efecto máximo se define como “respuesta a la insulina”. Entonces, el caballo resistente a la insulina es aquel que tiene esta respuesta disminuida o totalmente inhibida por lo que aumenta el consumo. De tal forma que, si la dieta del caballo

está compuesta por almidones o azúcares excesivamente, se incrementa la fermentación microbiana ocasionando la disminución del pH intestinal, la liberación de endotoxinas, aminas vasoactivas y componentes bacterianos, todo esto más el aumento de la permeabilidad intestinal causa que sean capaces de ser absorbidas y transportadas vía sanguínea hacia las láminas sensitivas del casco causando la enfermedad conocida como laminitis.¹⁷¹

Ciertamente, el manejo nutricional es prioritario en el caballo en crecimiento, tal como se ha mencionado, un exceso en el aporte de energía favorece la presentación de este síndrome. Durante las etapas donde se aumenta el consumo de granos de cereales o concentrados comerciales es posible descuidar la composición química de algunos ingredientes teniendo como resultado el suministro de dietas ricas en almidones y azúcares altamente fermentables desencadenando la serie de eventos antes mencionados.

Las reglas generales a seguir en la alimentación de caballos con este síndrome son:

171

- 1) No granos o alimentos dulces (ingredientes ricos en almidón o azúcares)
- 2) Restricción o pastoreo nulo, en algunas épocas del año el elevado contenido de carbohidratos no estructurales favorece la presentación de laminitis.
- 3) Proporcionar dietas basadas en heno con menos del 10% de carbohidratos no estructurales.
- 4) Alimentar solo con dietas para mantenimiento y monitorear la condición corporal frecuentemente.

3.6.3 Enfermedades Conductuales

A lo largo de la vida del caballo, surgen eventos o situaciones las cuales se debe enfrentar, resultando en la adaptación, el moldeado o la modificación de su conducta; mientras que, algunas de estas favorecen e incluso promueven significativamente el desarrollo máximo de la capacidad física propia para el cual es criado, otras tan solo resultan en cambios conductuales indeseables o patológicos que comprometen la salud y el desempeño físico del animal.

El crecimiento del equino es la etapa donde el animal está susceptible de aprender cualquier comportamiento deseable o indeseable por la vulnerabilidad al medio que lo rodea; esto es, a través de la imitación materna o de otros miembros de la cuadra, el manejo cotidiano por parte del personal que labora en el rancho; por otro lado, es posible que algunos desajustes nutricionales favorezcan la presentación de estos cambios capaces de alterar el equilibrio nutricional de cualquier animal.¹⁶⁷

Las patologías conductuales se definen como comportamientos no deseados, no convencionales y repetitivos, comúnmente llamados vicios o estereotipias. La presentación de estos vicios se observa con frecuencia en animales que permanecen por tiempos prolongados dentro de su caballeriza.

Los vicios se clasifican en orales, de escape y de agresión o huida.¹⁶⁷

Ciertamente, considerar el desarrollo evolutivo del equino permite fácilmente comprender el origen de algunas de estas conductas; por ejemplo, el tiempo dedicado a pastorear en un caballo en vida libre es de 14 horas. Sin embargo, la domesticación eliminó muchas de estas conductas naturales; es decir, ahora debe consumir su alimento en escasas horas, permanecer generalmente aislado en su

caballeriza y expuesto a ejercicios intensos antes de alcanzar su madurez; por lo que resulta fácil comprender la presentación de estos vicios.¹⁶⁷

Idealmente, entender el momento de presentación y las causas que dan origen a estas conductas; así como, tratar de prevenirlas y mitigarlas oportunamente es la clave para corregirlas. Sin embargo, cualquiera que sea la causa del vicio es indispensable proponer algún tratamiento lo antes posible, de no hacerlo aumentará la frecuencia hasta convertirse en una fijación probablemente irreversible. Algunas de las consecuencias de este tipo de vicios son disminución en el consumo de alimento, el rendimiento físico, la condición corporal e incluso del peso.¹⁶⁷

Actualmente, uno de los eventos más importantes en el crecimiento del potro es el periodo de destete a los cuatro y seis meses de edad; mientras que, naturalmente este ocurre hasta el primer año de vida.¹³ De tal forma que, esta práctica causa situaciones de estrés que frecuentemente resultan en cambios a corto o largo plazo en el comportamiento del caballo. Además, durante este periodo ciertos factores desencadenan la aparición de cambios conductuales como son las deficiencias de algunos nutrientes; por ejemplo, fibra, minerales, entre otros.¹⁶⁷

Al hablar del comportamiento natural, resulta importante considerar que al menos el potro permanecerá cerca de su madre al menos los primeros seis meses de vida, por lo que quizás algunas de estas alteraciones son consecuencia del comportamiento de imitación de la yegua y hacia otros individuos miembros de la cuadra; de tal forma que, poner mucha atención en aquellos individuos que presenten alguna de estas patologías es importante con el objetivo de evitar el comportamiento de imitación.¹⁶⁸

Comúnmente, muchas de estas estereotipias están relacionadas con la cavidad oral; aunque, existen otras de importancia clínica. A continuación se describen algunas de las más comunes con el objetivo de identificarlas, prevenirlas, detectarlas y de ser posible corregirlas.

A) Intento de huida

Este comportamiento se caracteriza por presentar algunas de estas conductas:

- 1) Golpear el piso repetitivamente,
- 2) Intentar cavar hoyos dentro de la caballeriza o corral,
- 3) Intentar saltar fuera de la caballeriza o potrero,
- 4) Patear las paredes o puertas de la caballeriza o cerca.

Estas conductas son las más comunes, pero existen otras más típicas de los caballos que permanecen atados o aislados por tiempo prolongado; por ejemplo, el balanceo continuo de un pie a otro acompañado de movimientos con la cabeza y el caminado repentino en círculos dentro de la caballeriza sin sentido alguno.

La principal causa a cualquiera de estas patologías es casi siempre, en respuesta a la frustración que sufre el potro contra la necesidad de adaptarse a permanecer aislado, vivir en espacios reducidos, reducir su tiempo de alimentación y al entrenamiento.¹⁶⁸

La prevención o corrección de estas conductas es teóricamente posible. Idealmente, el potro, previamente debe ser acostumbrado a visitar con frecuencia la caballeriza antes de ser confinado definitivamente; otra práctica común, es introducir otro animal que sirva como compañía dentro de la caballeriza.¹⁷² Adicionalmente, se

sugiere incrementar la actividad física o el ejercicio, aumentar la frecuencia de la alimentación e incluso de ser posible aumentar la cantidad de alimento, ¹⁶⁶ con el objetivo de mantener ocupado y acostumbrarlo a su nuevo entorno gradualmente.

B) Masticar madera (pica, consumo de madera)

El masticar madera o pica es de los vicios más comunes en caballos estabulados; aunque, también se ha observado en caballos bajo sistemas de pastoreo. De acuerdo con Rich 1986, este comportamiento es principalmente resultado de la imitación materna u otros individuos. ¹⁷³

Es importante mencionar que no hay preferencia por algún tipo de madera; sin embargo, las de textura suave son las más susceptibles; también, el inicio de este comportamiento está asociado a ciertas condiciones climatológicas como el frío y la humedad, factores que favorecen la emisión de aromas estimulando el consumo de esta. Otro factor que puede desencadenar esta conducta es el estrés y la ansiedad que ocasionan estas condiciones climatológicas. ¹⁶⁷

Además de los factores antes mencionados, es recomendable evaluar la cantidad de fibra en la dieta, ya que alguna deficiencia pudiera ser la causa de este comportamiento.

Generalmente, el consumo de madera no causa daño al caballo, gracias a que la mayor parte es escupida después de ser masticada; sin embargo, ocasionalmente, algunas astillas pueden llegar a lesionar la lengua, cachetes e incluso pasar hacia el esófago y al estómago ocasionando lesiones. ¹⁶⁷

C) Aerofagia

La aerofagia es la acción que ejerce el caballo con los dientes incisivos superiores sobre una superficie horizontal, haciendo presión sobre este objeto o material y jalando hacia atrás, simultáneamente, traga aire y emite un sonido característico. Es importante mencionar que algunos caballos solo realizan estas conductas mientras están solos, de tal forma que, la presencia de alguien evita este comportamiento.^{167, 174}

La causa principal de este comportamiento, aunque no en todos los casos, es la frustración, el aburrimiento y el ocio;^{171, 174, 175} también, se ha descrito que esta conducta obedece a los cambios evolutivos que ha sufrido sustituyendo el tiempo dedicado a alimentarse con el tragado de aire llenando el estómago.¹⁶⁷

Ambas conductas causan problemas clínicos como dilatación gástrica, tan solo la molestia causada por el sonido que emite el caballo. Sin embargo, muchos criadores prefieren evitar la aparición de estas conductas debido a que otros animales fácilmente imitan este comportamiento; por lo que, animales con esta patología son separados proporcionando compañía de otra especie, evitando el aislamiento total.
177

D) Masticado de cola o crin

La masticación de la cola o crin es poco común, asociada a dietas deficientes en fibra.¹⁶⁷ Además, en animales jóvenes puede ser parte del juego;^{174, 178} también, es asociado a deficiencias minerales, aunque se ha observado que animales con dietas bien equilibradas es probable la presentación de este comportamiento.¹⁷⁷

Inicialmente, el impacto es estético gracias a la pérdida de pelo en la cola y la crin, aunque ocasionalmente el consumo de grandes cantidades de pelo ocasiona obstrucción intestinal.

E) Coprofagia

El consumo de heces o coprofagia es un comportamiento natural en el neonato, forma parte del aprendizaje entre lo que debe comer; adicionalmente, favorece al proceso de colonización del tracto gastrointestinal, permitiendo satisfactoriamente la transición de consumo de leche a alimento. ^{167, 179}

A pesar de ser muy común este comportamiento, no es de interés clínica gracias a ser transitorio; es decir, en cuanto el potro crece este comportamiento desaparece. ^{167, 174}

Finalmente, se concluye que la mayoría de estas patologías conductuales son el resultado de cambios adaptativos que alteran el comportamiento natural del caballo, así que, tratar de acostumbrar gradualmente a su nuevo ambiente y hábitos es la clave del éxito para evitar la presentación de estas conductas.

Ciertamente, muchas de estas conductas son consecuencia de desaciertos nutricionales, para lo cual se debe evaluar constantemente la dieta; sin embargo, otras de estas son solo fallas en el manejo del potro.

Además, cualquier cambio súbito en las actividades cotidianas del animal ocasiona conductas indeseables; por ejemplo, el entrenamiento, el cambio de caballeriza o de potrero, entre otras. ¹⁷⁴

IV. CONCLUSIÓN

Con base en la literatura revisada se concluye que para asegurar el éxito en la crianza de un potro que cumpla las exigencias del mercado es vital alcanzar el peso adulto en el tiempo ideal, de manera que el animal esté en condiciones de iniciar el entrenamiento apropiado según el fin zootécnico y demuestre eficiencia sin que ello signifique costos de bienestar y desempeño del equino, así como económicos para el propietario por concepto de tratamientos correctivos.

El ritmo de crecimiento y el tiempo al que el potro ha de alcanzar su peso adulto promedio es fácilmente manipulable, pero es necesario hacer estimaciones precisas para cubrir requerimientos nutricionales durante el crecimiento de los tejidos y así prevenir problemas físicos, metabólicos o conductuales.

El requerimiento más limitante y la base de la nutrición del caballo es la energía; mas la relación que esta guarda con la proteína, así como la interacción entre macro y microelementos, se vuelven prioritarios sobre todo porque de tales nutrientes depende la formación de tejido óseo, conectivo y muscular.

El cálculo de los requerimientos nutricionales debe hacerse teniendo en mente factores cualitativos como: raza, país de origen, función zootécnica y sistema de producción del equino en cuestión; así como algunos cuantitativos como peso a diferentes edades, ganancia de peso y proporciones. De tal forma que dichos factores ayuden a la elección del sistema más apropiado para la estimación de requerimientos pues cada sistema de alimentación ha basado sus investigaciones utilizando caballos de razas disponibles en su país.

Finalmente, la nutrición del caballo en crecimiento, debe conducirse teniendo en mente que la adición en exceso de un nutriente o por el contrario la deficiencia de otro, no necesariamente llevará a mayores beneficios sino que, por el contrario, las concentraciones excesivas, deficientes o desproporcionadas de nutrientes, invariablemente conducen a problemas clínicos a menudo irreversibles.

. REFERENCIAS

1. McMiken DF. 1990. Ancient origins of horsemanship. *Equine Veterinary Journal* 1990, 22: 73-78.
2. Dunlop RH, Williams DJ. 1996. *Veterinary Medicine. An illustrated history.* Mosby, St Louis: 1996.
3. Van Weeren PR. 2000. History of locomotor Research. En: Back W, Clayton HM (Eds.). *Equine Locomotion.* W.B. Saunders. Philadelphia. USA: 2000. 1-35.
4. FAO, 2006. <http://faostat.fao.org/site/573>
5. Hernández GM. 2009. Requerimientos Nutricionales del Equino Reproductor. En: XXXI Congreso Anual AMMVEE 2009. Puerto Vallarta, Jalisco, México.
6. Harris PA. 2008. Hints on nutrition for optimal growth. 4th European Equine Health & Nutrition Congress. Wageningen University and Research Centre 18-19 April 2008: Pp 57.
7. Davidson N, Harris P. 2002. Nutrition and Welfare. En: Kluwer W (Ed.) *The Welfare of Horses.* Academic Publishers. The Netherlands: 2002. Pp. 45-76.
8. Martin-Rosset W. 2005. Growth and developmental in the equine. The growing horse: nutrition and prevention of growth disorders. *European Association for Animal Production* 2005, 125: 15-50.
9. Ousey JC. 2006. Physiology and metabolism in the new born foal with reference to orphan and sick foals. En: *Proceedings of 3rd European Workshop Equine Nutrition.* Miraglia N, Martin-Rosset W (Ed.).

- Campobasso 20-22 June Italy. EAAP 120. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands.
10. Cymbaluk NF, Christison GI, Leach DH. 1990. Longitudinal growth analysis of horses following limited and *ad libitum* feeding. *Equine Veterinary Journal* 22: 198-204.
 11. Ruff SJ, Wood CH, Aaron DK, Lawrence LM. 1993. A comparison of growth rates of normal thoroughbred foals and foals diagnosed with cervical-vertebral malformation. *Journal of Equine Veterinary Science* 13: 596-599.
 12. Toribio RE. 2004. Disorders of the endocrine system. En: Reed SM, Bayly WM, Sellon DC (Eds.) *Equine Internal Medicine*. 2nd Edition. Saunders. USA: 2004. Pp: 1295-1379.
 13. McGreevy P. 2004. *Equine behavior*. Saunders. United Kingdom: 2004.
 14. Van Weeren PR, Brama PAJ. 2008. Early exercise advances the maturation of glycosaminoglycans and collagen in the extracellular matrix of articular cartilage in the horse. *Equine Veterinary Journal* 40: 128-135.
 15. NRC. 2007. *Nutrient Requirements of Horses (6th Revised Edition)*. Animal Nutrition Series. Washington D.C.
 16. Frape D. 2006. *Equine Nutrition & Feeding*. Blackwell Publishing. United Kingdom: 2006.
 17. Rosedale PD, Ousey JC. 2003. Fetal programming for athletic performance in the horse: potential effects of IUGR. *Equine Veterinary Education Manual* 6: 24-37.
 18. Rosedale PD. 1993. Clinical view of disturbances in equine foetal maturation. *Equine Veterinary Journal Suppl.* 14: 3-7.

19. Martin-Rosset W, Vervuert I, Austbo D. 2006. Energy and protein requirements and recommended allowances in pregnant mares. En: Miraglia N, Martin-Rosset W (Eds.). Nutrition and feeding of the broodmare. EAAP publication No. 120. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands, 2006. Pp: 15-39.
20. Douglas RH, Ginther OJ. Development of the equine foetus and placental. Journal of Reproduction and Fertility 1975 Suppl. 23: 503-505.
21. Hay G. Regulation of placental metabolism by glucose supply. Reproduction, fertility and development 1977, 7: 365-375.
22. Fowden AL, Silver M. 1995. Glucose and oxygen metabolism in the foetal foal during late gestation. American Journal of Physiology, 268: 1455-1461.
23. Ousey J. 2003. Feeding the newborn foal in health and disease. Equine Veterinary Education Manual 6: 50-54.
24. Pagan JD, Jackson SG. 1996. The incidence of developmental orthopedic disease on a Kentucky Thoroughbred farm. Pferdeheilkunde 12: 351-354.
25. Martin-Rosset W, Austbo D, Coenen M. 2006. Energy and protein requirements and recommended allowances in lactating mares. En: Miraglia N, Martin-Rosset W (Eds.). Nutrition and feeding of the broodmare. EAAP publication No. 120. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands, 2006. Pp: 89-115.
26. Doreau M, Martuzzi F. 2006. Milk yield of nursing and dairy mares. En: Miraglia N, Martin-Rosset W (Eds.). Nutrition and feeding of the broodmare. EAAP publication No. 120. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands, 2006. Pp: 57-64.

27. Doreau M, Martuzzi F. 2006. Mare milk composition: recent findings about protein fractions and mineral content. En: Miraglia N, Martin-Rosset W (Eds.). Nutrition and feeding of the broodmare. EAAP publication No. 120. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands, 2006. Pp: 65-76.
28. Doreau M, Martuzzi F. 2006. Fat content and composition of mare's milk. En: Miraglia N, Martin-Rosset W (Eds.). Nutrition and feeding of the broodmare. EAAP publication No. 120. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands, 2006. Pp: 77-87.
29. Starbuck GR. 2006. Physiology of lactation in the mare. En: Miraglia N, Martin-Rosset W (Eds.). Nutrition and feeding of the broodmare. EAAP publication No. 120. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands, 2006. Pp: 49-55.
30. Herrera LA. 2007. Requerimientos Nutricionales y Valor Nutritivo de los Alimentos en Équidos de Trabajo, Estudio Recapitulativo (tesis licenciatura). México. Universidad Nacional Autónoma de México. 2007.
31. Cottrill CM. Placental evaluation on the field. Equine Veterinary Education 1991; 3 (4): 204-207.
32. Rossdale PD, Ricketts SW. Evaluation of the fetal membranes at foaling. Equine Veterinary Education 2002; Manual 5: 78-82.
33. Wilkins PA. Disorders of foals. Reed SM, Bayly WM, Sellon DC, editors: Equine Internal Medicine 2nd Ed. St. Louis Missouri, 2004, WB Saunders. Pp: 1381-1431.

34. Lawrence LA, Lawrence TJ. 2008. Developmental of the equine gastrointestinal tract. Kentucky Equine Research Inc. Versailles, Kentucky
35. Rosedale PD, McGladdery AJ. Perinatology: a clinical concept. Equine Veterinary Education 1991; 3 (4): 208-214.
36. Acworth NRJ. The healthy neonatal foal: routine examinations and preventive medicine, Equine Veterinary Education Manual 6: 45-49, 2003.
37. Stoneham SJ. 2001. Foal Nursing. Coumbe, K. (Ed.). Equine Veterinary Nursing Manual. Capítulo 15. Blackwell Science. Oxford, United Kingdom. 2001. Pp: 284-297.
38. Fowden AL, Taylor PM. 1991. Tissue glycogen and glucose 6- phosphatase levels in fetal and newborn foals. J. Reprod. Fertil. Suppl. 44:537-542.
39. Fowden AL, Forhead AJ, White KL, Taylor PM. 2002. Equine uteroplacental metabolisms at mid and late gestation. Exp. Physiology. 85:539-545.
40. Ousey JC, McArthur AJ, Rosedale PD. 1991. Metabolic changes in Thoroughbred and pony foals during the first 24 h post partum. Journal of Reproduction and Fertility; Suppl. 44: 561-570.
41. Ousey JC, Ghatel M, Rosedale PD, Bloom SR. 1995. Gut hormone responses to feeding in healthy pony foals aged 0 to 7 days. Biology of Reproduction Monogastrics. 11:87-96
42. Baker SJ, Gerring EL. 1993. Gastric pH monitoring in healthy, suckling pony foals. American Journal of Veterinary Research. 54:959-964.
43. Murray MJ, Grodinsky C. 1989. Regional gastric pH measurement in horses and foals. Equine Veterinary Journal Supply. 7:73-76.

44. Smyth GB. 1988. Effects of age, sex and post mortem interval on intestinal lengths of horses during development. *Equine Veterinary Journal*. 20:104-108.
45. Hintz HF, Hintz RL, Van Vleck LD. 1979. Growth rate of Thoroughbreds: Effect of age of dam, year and month of birth, and sex of foal. *Journal of Animal. Science*. 48:480-487.
46. Pagan JD, Jackson SG, Caddel S. 1996. A summary of growth rates of Thoroughbreds in Kentucky. *Pferdeheilkunde*. 12:285-289.
47. Trahair JF, Songild PT. 1997. Systemic and luminal influences on the perinatal development of the gut. *Equine Veterinary Journal*. 24:40-50.
48. Boy V, Duncan P. 1979. Time budgets of Camargue horses. 1. Developmental changes in the timebudgets of foals. *Behavior*. 21:187-201.
49. Asp NG, Dahlquist A. 1968. Rat small intestinal b-galactosidases: Separation by ion-exchange chromatography and gel filtration. *Biochemical Journal*. 106:841-845.
50. Eadie JM, Mann SO. 1970. Development of the rumen microbial population: High starch diets and instability. *Physiol. Digest. Metabo. Rumin*. 335-347.
51. Norikatsu Y, Shimazaki T, Kushiro A, Watanabe K, Uchida K, Yuyama T, Morotomi M. 2000. Colonization of the stratified squamous epithelium of the nonsecreting area of horse stomach by lactobacilli. *Applied. Environment. Microbiology*. 11:5030-5034.
52. Moughan PJ, Birties MJ, Cranwell PD, Smith WC, Pedraza M. 1992. The piglet as a model animal for studying aspects of digestion and absorption in

- milk-fed human infants. En: Simopoulos AP(Eds.). Nutritional triggers for health and in disease. p. 4-113. Karger. Basel, Switzerland.
53. Mackie RJ, Abdelghani S, Gaskins HR. 1999. Developmental microbial ecology of the neonatal gastrointestinal tract. American Journal of Clinical Nutritional. Supply. 69:1035S-1045S.
54. Findlay ALR. 1998. The developing gastrointestinal system. www.chu.com.ac.uk.
55. Conway P. 1997. Development of intestinal microbiota. En: Mackie RI, White BA, Isaacson RE (Eds.) Gastrointestinal microbiology. Vol. II. p. 3-38. Chapman and Hall. New York.
56. Scanes CG. 2003. Biology of Growth of Domestic Animals. Iowa State Press. Iowa, USA.
57. Rook JAF, Thomas PC. 1983. Nutritional Physiology of farm animals. Longman. New York, USA
58. Meyer H, Ahlseele L. 1976. Über das intrauterine wachstum und die körperzusammentragender stuten. Übersicht. Tierernähr. 4:263-292.
59. Platt H. 1984. Growth of the equine fetus. Equine Veterinary Journal 16: 247-252
60. Girard J, Pintado E, Ferre P. 1979. Fuel metabolism in the mammalian fetus. Annals of biology and animal biochemistry 19(1B):181-197.

61. Wood WG, Pearce K, *et al* .1976. Switch from foetal haemoglobin synthesis in normal and hypophysectomised sheep. *Nature* 264: 799-801
62. Dancis J, Schneider H. 1975. Physiology: transfer and barrier function. En: Gruenwald P (Eds.). *The Placenta*. Pp: 98-124
63. Blaxter KL. 1964. Protein metabolism and requirements in pregnancy and lactation. *Mammalian protein metabolism* 2: 173-223
64. Ott EA, Asquith RL. 1986. Influence of level of feeding and nutrient content of the concentrate on growth and development of yearling foals. *Journal of Animal Science* 62: 290-299
65. Thompson KN *et al*. 1988. The effect of above average weight gains on the incidence of radiographic bone aberrations and epiphysitis in growing horses. *Equine Veterinary Science* 8: 383
66. Glade MJ, Belling TH. 1986. A dietary etiology for osteochondrotic cartilage. *Journal Equine Veterinary Science* 6: 151-155
67. Glade MJ, Luba NK. 1987. Serum triiodothyronine and throxine concentrations in weanling horses fed carbohydrate by direct gastric infusión. *American Journal Veterinary Research* 48: 578-582
68. Ralston SL. 1966. Hyperglycaemia/ hyperinsulinaemia after feeding a meal of grain to young horses with osteochondrosis dissecans lesions. *Pferdeheilkunde* 12: 320-322
69. Bowman VA, Fontenot JP, Webb KE. 1980. Palatability and digestibility of animal, vegetable and blended fats by equine. *Livestock Research Report* 233-248

70. McCann JS *et al.* 1987. Energy utilization and blood traits of ponies fed fat supplemented diets. *Journal of Animal Science* 65: 1019-1026
71. Watkins BA *et al.* 1977. Dietary lipids modulate bone prostaglandin E₂ production, IGF-I concentration and formation rate in chicks. *Journal of nutrition* 127: 1084-1091
72. Hintz HF, Schryver HF. 1972. Nitrogen utilization in ponies. *Journal of Animal Science* 34: 592-595
73. Ott E. 2004. Energy and protein metabolism. of normal growth. En: Juliand V, Martin-Rosset W (Eds.). *The growing horse: nutrition and prevention of growth disorders*. EAAP publication No. 114. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands, 2006. Pp: 91-101.
74. Grace ND, *et al.* 1999. Content and distribution of macro and micro elements in the body of pasture fed young horses. *Australian Veterinary Journal* 77: 172-176
75. Coenen M, Vervuert I. 2004. The physiological role of minerals and vitamins in the growing horse. En: Juliand V, Martin-Rosset W (Eds.). *The growing horse: nutrition and prevention of growth disorders*. EAAP publication No. 114. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands, 2006. Pp: 173-198.
76. Wijnberg ID, *et al.* 2002. Electromyographic changes of motor unit activity in horses with induced hypocalcemia and hypomagnesemia. *American Journal of Veterinary Research* 63: 849-856
77. Schryver HF, *et al.* 1970. The site of calcium absorption in the horse. *Journal of Nutrition* 100:1127-1131.

78. Meyer H, *et al.* 1982. Praecaecale und postileale Verdaulichkeit von Mangan (Ca, P, Mg) und Spurenelement (Cu, Zn, Mn) beim Pferd. *Advances in Animal Physiology and Animal Nutrition: Contributors to Digestive Physiology of the Horse* 13: 61-69.
79. Telep H. 1984. Untersuchungen über den intestinalen Ca-Stoffwechsel beim Pferd nach variierender Ca-zufuhr und einer Oxalatzulage. *Tierärztl. Hochsch, Hannover. Tierernährg* 26: 1-24
80. Ramirez S, Seahorn TL. 1997. How to manage nutritional secondary hyperparathyroidism in horses. *Veterinary Medicine* 92: 980-985
81. Jordan RM, *et al.* 1975. Effect of calcium and phosphorus levels on growth, reproduction and bone development of ponies. *Journal of Animal Science* 40: 78-85
82. Hintz HF, Schryver HF. 1972. Availability to ponies of calcium and phosphorus from various supplements. *Journal of Animal Science* 34: 979-980.
83. Mundt LH, *et al.* 1978. Untersuchungen über die Verdaulichkeit von aufgeschlossenem Stroh beim Pferd. Institute of Animal Nutrition. School of Veterinary Medicine. Hannover
84. Lindner A. 1983. Untersuchungen zum Natriumstoffwechsel des Pferdes bei marginaler Versorgung und zusätzlicher Bewegung. Institute of Animal Nutrition. School of Veterinary Medicine. Hannover.
85. Gürer C. 1985. Untersuchungen zum Kaliumstoffwechsel des Pferdes bei marginaler Versorgung. Institute of Animal Nutrition. School of Veterinary Medicine. Hannover

86. Coenen M. 1991. Chloride metabolism and chloride requirement of the horse. Institute of Animal Nutrition. School of Veterinary Medicine.
87. Coenen M, *et al.* 1997. Die Anwendung von Magnesium und Ammoniumsalzen unter hiesigen Bedingungen zur Prophylaxe der Gebärpause. En: 22 Kongress der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft 22. Bad Nauheim
88. Underwood EJ, Suttle NF. 1981. The mineral nutrition of livestock. CABI Publishing. Oxon, UK
89. McDowell LR. 1992. Minerals in animal and human nutrition. Academic Press. London
90. Anke M, *et al.* 1994. Kupfer, Jod und Nickel in Futter- und Lebensmitteln. Übers. Tierern 22: 321-362
91. Hostetler CE, Kincaid RL, *et al.* 2003. The role of essential trace elements in embryonic and fetal development in livestock. Veterinary Journal 166: 126-139
92. Schweigert FJ. 1988. Vitamin A: Stoffwechsel. Genexpression und embryonale Entwicklung. Übers.
93. Landes E. 1994. Die Konzentration von Vitamin A in der Leber von Rindern und Schweinen. Übers. Tierern 22: 281-320.
94. Norman AW. 2001. Vitamin D. En: Bowman BA, Russell RM. (Eds.). Present Knowledge in Nutrition. ILSI Press. Washington, DC.
95. Bergero M, Ventorp M, Vervuert N, Miraglia C, Trillaud-Geyl, Valle E. Overview practices in the field in Europe: rationing and prevention of nutritional related problems in the mares. En: Miraglia N, Martin-Rosset W

- (Eds.). Nutrition and feeding of the broodmare. EEAP Publication No. 120.
Pp:263-277
- 96.Harris PA. 2001. Feeding and management practices in the UK and Germany. En: Williams and Wilkins (Eds.). Broodmares feeding and care. USA. Pp: 587
- 97.Boulot S. 1987. L' ingestion chez la jument. En: Duncan PB (Ed.). Horses and Grasses: The nutritional ecology of equids and their impact on the camargue. 1992
- 98.Trillaud-Geyl C, *et al.* 1990. Bilan de productivite sur 10 ans d'un troupeau de juments de selle conduites en plein air integral. Croissance des produits de 0 a 6 mois. World Review Anim Prod. 25 (3): 65-70
- 99.Jeffcott LB. 2004. Developmental diseases affecting growing horses. En: Juliand V, Martin-Rosset W (Eds.). The growing horse: nutrition and prevention of growth disorders. EAAP publication No. 114. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands, 2006. Pp: 243-255.
- 100.Cymbaluk NF *et al.* 1990. Longitudinal growth analysis of horses following limited and *ad libitum* feeding. Equine Veterinary Journal 22: 198-204.
- 101.Ruff SJ, Wood CH, Aaron DK, Lawrence LM. 1993. A comparison of growth rates of normal thoroughbred foals and foals diagnosed with cervical-vertebral malformation. Journal of Equine Veterinary Science 13: 596-599
- 102.Harris PA, Staniar W, Ellis A. 2005. Effect of exercise and diet on the incidence of DOD. En: Martin-Rosset WC, Julliand V. (Eds.). The growing

- horse: nutrition and prevention of growth disorders. EEAP Publication No 114. Pp: 273-291
103. Staniar WB. 2005. Growth patterns: what influences them and how can we monitor and use them?. En: Harris PA, *et al.* (Eds.). Proceedings of the first Waltham Breeding Symposium. Equine Veterinary Journal. Newmarket, UK. Pp: 17-24
104. Wingfield DN. 2005. Monitoring growth and development on UK studs. En: Harris PA, *et al.* (Eds.). Proceedings of the first Waltham Breeding Symposium. Equine Veterinary Journal. Newmarket, UK. Pp: 33-36
105. Butaye R. 1966. Poits et croissance de poulains et de chevaux plus ages chez la race de trait belge. Vlaams Diergeneeskundig Tijdschrift 35 (4): 157-175
106. Mauch A. 1993. Untersuchungen über die trächtigkeitsdauer der stuten. Z. Züchtung 39: 31-42
107. Howell CE, Rollins NC. 1951. Environmental sources of variation in the gestation length of the horse. Journal of Animal Science 10: 789-796
108. Zwolinski J. 1966. L'analyse de quelques phenomenes en relation avec la reproduction chez les juments. Roc Wyz Szk Roln Poznan 25: 227-232
109. Rophilia *et al.* 1969. The duration of pregnancy in Thoroughbreds mares. Vet Rec 84:552
110. Martin-Rosset WC, Trillaud-Geyl. 1984. Exploitation d'un troupeau de juments Lourdes allaitantes. En: Jarrige R, Martin-Rosset WC (Eds.). Le Cheval. INRA Editions. Versailles, France. Pp: 687

111. Ilancic D. 1956. Einflub der genetischen und paragenetischen faktoren auf das fohlenege wicht bei der geburt. Zucgthungskunde 28: 430-435 in the thoroughbred foal. Res Vet Sci 1976; 20(3):267-275.
112. Jordao LP, De Camargo MX. 1950. Some measurements of mangalarga horses breed at the Sao Paulo Stud. Stud Biology Industry Animal 11: 81
113. Lohman F, Marinic J. 1952. The effect of spring and autumn foaling on foal development. Veterinary Archive 22: 228
114. Martin-Rosset WC. 1983. Reveu bibliographique: Particularites de ña croissance et du developpment de cheval 32: 109-132
115. Stashak TS. 2002. Adam's Lameness in Horses. Fifth edition. Lippincott Williams and Wilkins. Baltimore, USA. Pp 73-111.
116. Bowling AT, Ruvinsky A. 2000. The genetics of the horse. Firs edition. Cabi Publishing. Wallingford, UK. Pp: 439-468
117. Back W, Clayton H. 2001. Equine Locomotion. First edition. Saunders. UK. Pp: 281-295
118. Martin-Rosset W, Vermorel, M Evaluation and expression of energy allowances and energy value of feds in the UFC system for the performance horse. En: Julliand, V.; Martin-Rosset, W. Nutrition of the Performance Horse. European Association for Animal Production. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands, 2004. pp: 29-60.
119. Guerin MV, Wang XJ. Environmental temperature has an influence on timing of the first ovulation of seasonal estrus in the mare. Theriogenology 1994; 42: 1053-1060.

120. Carnevale EM, Ginther, OJ. Age and pasture effects on vernal transition in mares. *Theriogenology* 1997; 47: 1009-1018.
121. Ginther OJ. Occurrence of anestrous, estrus, diestrus and ovulation over a twelve-month period in mares. *American Journal of Veterinary Research* 1974; 35: 1173-1179.
122. Mc Daniel JB, Kreider JL, Thrasher DM. The influence of artificial light and nutritional supplement on the onset of the breeding season in mares. *Journal of Animal Science* 1979; Supplement 1: 14-145.
123. Hagstrom DJ, Vogelsang MM, Cartright AL, Harms PG, Potter GD, Riccitelli KR. Luteinizing hormone concentrations in mares foaling in thin body condition and fed a fat-supplemented diet. *Proceedings of the 16th Equine Nutrition and Physiology Symposium, North Carolina State University, Raleigh, 2-5 Junio, 1999. Pp:58-63.*
124. Meyer H. Einfluss der ernährung auf die fruchtbarkeit der stuten and die vitalität neugeborener fohlen. *Übers. Tierernährung* 1998, 26: 65-86.
125. Gong JG. Influence of metabolic hormones and nutrition on ovarian follicle development in cattle: practical implications. *Domestic Animal Endocrinology* 2002; 23: 229-241.
126. Vermorel, M., Jarrige, R. and Martin-Rosset, W. Metabolisme et besoins energetiques du cheval le systeme des UFC. In : R. Jarrige and W. Martin-Rosset (Editors), *Le Cheval, Reproduction, Selection, Alimentation, Explotation*. INRA Publications, Route de St. Cyr, 87000 Versailles. Pp. 239-276.

127. Webster AJF. Bioenergetics, bioengineering and growth. *Animal Production* 1989; 48: 249-269.
128. Cuddeford D. Feeding Systems for Horses. In: Theodorou MK, France J, editors. *Feeding Systems and Feed Evaluation Models*. Wallingford: CABI Publishing, 1999: 239-273.
129. Pagan JD, Hintz HF. Equine energetics. 1. Relationships between bodyweight and energy requirements in horses. *Journal of Animal Science* 1986; 63: 815-821.
130. Vermorel M, Martin-Rosset W. Concepts, scientific bases structures and validation of the French horse net energy system (UFC). *Livestock Production Science* 1997; 47: 261-275.
131. Vermorel M, Martin-Rosset W, Vernet J. Energy utilization of twelve forages or mixed diets for maintenance by sport horses. *Livestock Production* 1997. 57: 157-167.
132. Vermorel M, Jarrige R, y Martin-Rosset W. 1984. Metabolisme et besoins energetiques du cheval le systeme des UFC. En : Jarrige R y Martin-Rosset W (Eds.). *Le Cheval : reproduction, selection, alimentation, exploitation*. INRA Publications. Route de St. Cyr, 87000 Versailles. Pp. 239-276.
133. Potter G. Digestible energy requeriments of horses for maintenance and work. En: Julliand, V.; Martin-rosset, W. *Nutrition of the Performance Horse*. European Association for Animal Production. Wageningen Academic Publishers. The Nehterlands, 2004. pp. 17-21.

134. Martin-Rosset W, Vermorel M. Maintenance energy requirements determined by indirect calorimetry and feeding trials in light horses. *Equine Veterinary Science*. 1991. 11: 42-45.
135. Kohnke J, Kelleber F, Trevor-Jones P. *Feeding Horses in Australia*. Rural Industries Research & Development Corporation. Australia. 1989.
136. McDonald P, Edwards RA, Greenhalgh JFD, Morgan CA. *Animal Nutrition*. 6th Edition. Prentice Hall. Edinburgh, UK. 2002.
137. Cuddeford D. 1999. Feeding Systems for Horses. En: Theodorou MK, France J (Ed.). *Feeding Systems and Feed Evaluation Models*. *CABI Publishing*. Wallingford UK. 1999. Pp: 239-273.
138. Coenen M. Evaluating the protein requirements of horses: The German system for digestible crude protein. En: Julliard V, Martin-Rosset, W (Ed.) *Nutrition of the performance horse*. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands, 2004. Pp: 143-147.
139. Austbo D. Evaluating the protein requirements of performance horses: A comparison of practical application of different systems. En: Julliard V, Martin-Rosset, W (Ed.) *Nutrition of the performance horse*. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands, 2004. Pp: 157-158.
140. Martin-Rosset W, Tisserand JL. Evaluation and expression of protein allowances and protein value of feeds in the MADC system for the performance horse. En: Julliard V, Martin-Rosset, W (Ed.) *Nutrition of the performance horse*. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands, 2004. Pp: 103-140.

141. Potter G. Protein requirements of horses for maintenance and work. En: Julliard, V.; Martin-Rosset, W. Nutrition of the Performance Horse. European Association for Animal Production. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands, 2004. Pp: 149-156.
142. Coenen M. German feeding standards. Proceedings of the 2000 KER Equine Nutrition Conference for Feed Manufacturers. Versailles Kentucky 2004. Pp: 159-175.
143. Martin-Rosset W, Vermorel N, Doreau M, Tisserand JL, Andrieu J. The French horse feed evaluation systems and recommended allowances for energy and protein. Livestock Production Science 1994; 40: 37-56.
144. Coenen M. 2000. German feeding standards. En: Proceedings of Equine Nutrition Conference for Feed Manufacturers. Kentucky Equine Research. Pp: 159-173
145. KER. 2000. Kentucky Equine Research Inc. Versailles, Kentucky
146. Stoneham SJ. 2005. How to feed the sick neonatal foal. En: Harris PA, Mair TS, Slater JD, Green RE (Eds). 1st BEVA and Waltham Nutrition Symposium. Cambridge, UK. Pp: 33-37
147. Naylor JM. 1979. Colostral immunity in the calf and the foal. Veterinary Clinics of North America. Large Animal Practice 1. Pp: 331-361
148. Naylor JM, Bell R. 1985. Raising the orphan foal. Veterinary Clinics of North America. American Equine Practice 1. Pp: 169-178
149. Cymbaluk NF, Laarveld B. 1996. The ontogeny of serum insulin-like growth factor-I concentration in foals: effect of dam parity, diet and age at weaning. Domestic Animal Endocrinology 13: 197-209

150. King SS, Nequin LG. 1989. An artificial rearing method to produce optimum growth in orphaned foals. *Journal of Equine Veterinary Science* 9: 319-322
151. Knight DA, Tyznik WJ. 1985. The effect of the artificial rearing on the growth of foals. *Journal American Science* 60: 1-5.
152. McIlwraith WC, Trotter GW. 1996. *Joint disease in the horse*. 1st Edition. W.B. Saunders Company. USA Pp:335 - 362
153. Turner S. 1987. Diseases of the bones and related structures. En: Stashak TS (Eds.). *Adam's Lameness*. 4th Edition Lea & Febiger. Philadelphia. Pp: 293-338.
154. O'Donohue DD, Smith FH, et al. 1992. The incidence of abnormal limb development in the Irish Thoroughbred from birth to 18 months. *Equine Veterinary Journal* 24. Pp: 305-309
155. Moore JN, McIlwraith CW. 1977. Osteochondrosis of the equine stifle. *Vet Rec*, 100. Pp: 133
156. Mayhew IG, De la Hunta A, et al. 1978. Nutrition, bones and bone pathology. *Cornell Veterinary Supply* 68:6. Pp: 71-102.
157. Wagner PC, Watrous BJ. 1991 *Equine Pediatric orthopedics: Part 6- Angular deformities*. *Equine Practice* 13, 24-31.
158. Leitch M. 1979. Angular limb deformities arising at the carpal region in foals. En: *Compendium of continuous Education of Veterinary Practice* 1. Pp: 39
159. Wyn-Jones G. 1988. *Deformities of the appendicular skeleton*. *Equine Lameness*. Blackwell Scientific Publications. UK. Pp: 194-223

160. Auer JA. 1982. Angular limb deformities in foals: congenital factors.
Compendium continuous education Practice Veterinary 4. S330-S339.
161. Butler JA, et al. 2000. Clinical Radiology of the Horse. 2nd Edition.
Blackwell science. Pp 264-266. Wagner PC. 1982. Diseases of spine.
Equine Medicine and surgery. En: Mansmann RA, McAllister ES (Eds.).
American Veterinary Publication. 3th Edition. Santa Barbara, California. Pp:
1145-1157
162. Rosedale PD. 1972. Modern concepts of neonatal disease in foals. Equine
Veterinary Journal 4: 117-118.
163. Cain GL. 1993. Wobbler Syndrome. Thoroughbred Times. October 15, 13.
164. Donawick WJ, et al. 1989. Early diagnosis of cervical vertebral
malformation in young Thoroughbred horses and successful treatment with
restricted diet and confinement. En: Proceedings of American Association of
Equine Practitioners 35. Pp 525-528
165. Owen JM. 1975. Abnormal flexion of the corono-pedal joint or “contracted
tendons” in unweaned foals. Equine Veterinary Journal 7. Pp: 40-45
166. Von Matthiessen PW. 1993. Case selection and management of flexural
limb deformities in horses: Acquired flexural limb deformities, Part I. Equine
Practice 15, 51-55.
167. Lewis LD. 1995. Equine Clinical Nutrition: Feeding and care. United States.
Pp.537-547
168. Frank N. 2007. Diagnosis and management of insulin resistance and
Equine Metabolic Syndrome (EMS) in horses. En: Lindner A. (Ed.). Applied

- equine nutrition and training. Equine Nutrition Conference (ENUCO 2007). Wageningen Academic Publishers. Pp: 107-125
169. Frank N, *et al.* 2006. Physical characteristics, blood hormone concentrations, and plasma lipid concentrations in obese horses with insulin resistance. *Journal American Veterinary Association* 228: 1383-1390
170. Henneke DR *et al.* 1983. Relationship between condition score, physical measurements and body fat percentage in mares. *Equine Veterinary Journal* 15: 371.
171. Geor RJ, Harris PA. 2009. Dietary Management of obesity and Insulin resistance: countering risk for laminitis. En: Geor RJ (Ed.). *Veterinary Clinics of North America, Equine Practice: Clinical Nutrition* 25 (1): 51-65
172. Marcella KL. 1988. Common behavior problems in horses. *Equine Practice* 10(6): 22-26
173. Rich GA. 1986. Woodchewin: a gnawing problem. En: 10th Proceedings of Colorado Horseman's Conference. Colorado State University, Fort Collins. Pp: 74-77
174. Fraser AF. 1992. The behavior of the horse. CAB International. Wallingford. Oxfordshire, UK. Pp: 1-288
175. Houpt KA. 1982. Oral vices of horses. *Equine Practice* (4) 4: 16-25
176. Wadsworth JR. 1989. Common vices in horses. As reported in *Equine Veterinary Data* 5(6): 92
177. Houpt KA. 1985. Behavioral problems in horses. En: American Association of Equine Practitioners. Pp: 113
178. Houpt KA. 1987. Tail chewing by horses. *Equine Practice* 9(4): 31

179. Lawrence LA. 2006. Nutrition of the dam influences growth and development of the foal. En: Proceedings of Kentucky Equine Research Nutrition Conference. 17:89-98.

VI. Anexos

Anexo 1. Requerimientos nutricionales totales para potros en crecimiento cuyo peso promedio adulto de la raza es de 350 kg

Peso Adulto Promedio (kg)	Edad (meses)	Peso (kg)	GDPP* (kg)	ED (Mcal)	PCD (g)	Lys (g)	Ca (g)	P (g)	Mg (g)	K (g)	Cl (g)	Na (g)
350												
	1	65	0.975	10.6	270.1	25.3	35.9	19.9	2.2	6.2	6.0	2.3
	3	125	0.385	11.0	172.5	16.1	21.3	11.8	2.4	7.4	11.6	2.9
	6	160	0.192	11.6	150.7	14.1	17.7	9.8	2.6	8.6	14.9	3.4
	18	230	0.135	11.4	204.8	19.1	20.9	11.6	3.6	11.9	21.4	4.7
	24	250	0.147	12.2	222.7	20.8	22.7	12.6	3.9	12.9	23.3	5.1
	42	330	0.032	11.9	231.0	21.6	24.8	13.8	5.0	16.6	30.7	6.6
	60	350	-	12.0	231.8	21.7	25.2	14.0	5.3	17.5	32.6	7.0

GDPP, ganancia diaria de peso promedio; ED, energía digestible; PCD, proteína cruda digestible; g, gramos; Lys, lisina; Ca, calcio; P, fósforo; Mg, magnesio; K, potasio; Cl, cloro; Na, sodio.
 *Ganancias diarias de peso promedio según tasa de crecimiento sugerida por Martin-Rosset, 2004⁸

Anexo 2. Requerimientos nutricionales totales para potros en crecimiento cuyo peso promedio adulto de la raza es de 400 kg

Peso Adulto Promedio (kg)	Edad (meses)	Peso (kg)	GDPP* (kg)	ED (Mcal)	PCD (g)	Lys (g)	Ca (g)	P (g)	Mg (g)	K (g)	Cl (g)	Na (g)
400												
	1	72	1.115	11.8	307.3	28.7	40.9	22.7	2.5	6.9	6.7	2.6
	3	140	0.440	12.1	195.1	18.2	24.1	13.4	2.6	8.3	13.0	3.2
	6	180	0.219	12.7	170.3	15.9	20.0	11.1	3.0	9.7	16.7	3.8
	18	260	0.154	12.6	231.9	21.7	23.6	13.1	4.1	13.5	24.2	5.4
	24	288	0.168	13.7	256.1	23.9	26.1	14.5	4.5	14.9	26.8	5.9
	42	380	0.036	13.2	265.9	24.9	28.5	15.8	5.7	19.1	35.3	7.6
	60	400	-	13.2	265.0	24.8	28.8	16.0	6.0	20.0	37.2	8

GDPP, ganancia diaria de peso promedio; ED, energía digestible; PCD, proteína cruda digestible; g, gramos; Lys, lisina; Ca, calcio; P, fósforo; Mg, magnesio; K, potasio; Cl, cloro; Na, sodio.
 *Ganancias diarias de peso promedio según tasa de crecimiento sugerida por Martin-Rosset, 2004⁸

Anexo 3. Requerimientos nutricionales totales para potros en crecimiento cuyo peso promedio adulto de la raza es de 450 kg

Peso Adulto Promedio (kg)	Edad (meses)	Peso (kg)	GDPP* (kg)	ED (Mcal)	PCD (g)	Lys (g)	Ca (g)	P (g)	Mg (g)	K (g)	Cl (g)	Na (g)
450												
	1	81	1.254	13.1	345.7	32.3	46.0	25.5	2.8	7.8	7.5	2.9
	3	157.5	0.495	13.3	219.5	20.5	27.2	15.1	3.0	9.4	14.6	3.6
	6	202.5	0.247	14.0	191.6	17.9	22.5	12.5	3.3	10.9	18.8	4.3
	18	292.5	0.173	13.9	260.9	24.4	26.6	14.8	4.6	15.1	27.2	6.0
	24	324	0.189	15.0	288.1	26.9	29.4	16.3	5.1	16.8	30.1	6.7
	42	427.5	0.041	14.5	299.1	28.0	32.1	17.8	6.5	21.5	39.8	8.6
	60	450	-	14.5	298.1	27.9	32.4	18.0	6.8	22.5	41.9	9.0

GDPP, ganancia diaria de peso promedio; ED, energía digestible; PCD, proteína cruda digestible; g, gramos; Lys, lisina; Ca, calcio; P, fósforo; Mg, magnesio; K, potasio; Cl, cloro; Na, sodio.
 *Ganancias diarias de peso promedio según tasa de crecimiento sugerida por Martin-Rosset, 2004⁸

Anexo 4. Requerimientos nutricionales totales para potros en crecimiento cuyo peso promedio adulto de la raza es de 500 kg

Peso Adulto Promedio (kg)	Edad (meses)	Peso (kg)	GDPP* (kg)	ED (Mcal)	PCD (g)	Lys (g)	Ca (g)	P (g)	Mg (g)	K (g)	Cl (g)	Na (g)
500												
	1	90	1.393	14.4	384.2	35.9	51.1	28.4	3.1	8.7	8.4	3.2
	3	175	0.549	14.6	243.9	22.8	30.2	16.8	3.3	10.4	16.3	4.0
	6	225	0.274	15.2	212.9	19.9	25.0	13.9	3.7	12.1	20.9	4.8
	18	325	0.192	15.1	289.9	27.1	29.6	16.4	5.1	16.8	30.2	6.7
	24	360	0.210	16.4	320.1	29.9	32.6	18.1	5.7	18.6	33.5	7.4
	42	475	0.046	15.7	332.3	31.1	35.7	19.8	7.2	23.9	44.2	9.5
	60	500	-	15.6	331.2	31.0	36.0	20.0	7.5	25.0	46.5	10

GDPP, ganancia diaria de peso promedio; ED, energía digestible; PCD, proteína cruda digestible; g, gramos; Lys, lisina; Ca, calcio; P, fósforo; Mg, magnesio; K, potasio; Cl, cloro; Na, sodio.
 *Ganancias diarias de peso promedio según tasa de crecimiento sugerida por Martin-Rosset, 2004⁸

Anexo 5. Requerimientos nutricionales totales para potros en crecimiento cuyo peso promedio adulto de la raza es de 550 kg

Peso Adulto Promedio (kg)	Edad (meses)	Peso (kg)	GDPP[*] (kg)	ED (Mcal)	PCD (g)	Lys (g)	Ca (g)	P (g)	Mg (g)	K (g)	Cl (g)	Na (g)
550												
	1	99	1.533	15.7	422.6	39.5	56.2	31.2	3.4	9.5	9.2	3.5
	3	192.5	0.604	15.8	268.3	25.1	33.2	18.4	3.6	11.4	17.9	4.5
	6	247.5	0.301	16.4	234.1	21.9	27.5	15.3	4.1	13.3	23.0	5.3
	18	357.5	0.212	16.3	318.9	29.8	32.5	18.1	5.6	18.5	33.2	7.4
	24	396	0.231	17.7	352.1	32.9	35.9	20.0	6.2	20.5	36.8	8.2
	42	522.5	0.050	16.8	365.5	34.2	39.2	21.8	7.9	26.3	48.6	10.5
	60	550	-	16.8	364.3	34.1	39.6	22.0	8.3	27.5	51.2	11.0

GDPP, ganancia diaria de peso promedio; ED, energía digestible; PCD, proteína cruda digestible; g, gramos; Lys, lisina; Ca, calcio; P, fósforo; Mg, magnesio; K, potasio; Cl, cloro; Na, sodio.
^{*}Ganancias diarias de peso promedio según tasa de crecimiento sugerida por Martin-Rosset, 2004⁸

Anexo 6. Requerimientos nutricionales totales para potros en crecimiento cuyo peso promedio adulto de la raza es de 600 kg

Peso Adulto Promedio (kg)	Edad (meses)	Peso (kg)	GDPP* (kg)	ED (Mcal)	PCD (g)	Lys (g)	Ca (g)	P (g)	Mg (g)	K (g)	Cl (g)	Na (g)
600												
	1	108	1.672	17.0	461.0	43.1	61.3	34.0	3.7	10.4	10.0	3.8
	3	210	0.659	16.9	292.7	27.4	36.2	20.1	4.0	12.5	19.5	4.9
	6	270	0.329	17.6	255.4	23.9	30.0	16.6	4.5	14.5	25.1	5.7
	18	390	0.231	17.5	347.9	32.5	35.5	19.7	6.1	20.2	36.3	8.0
	24	432	0.252	19.0	384.1	35.9	39.2	21.8	6.8	22.4	40.2	8.9
	42	570	0.055	18.0	398.8	37.3	42.8	23.8	8.6	28.7	53.0	11.5
	60	600	-	17.9	397.4	37.2	43.2	24.0	9.0	30.0	55.8	12.0

GDPP, ganancia diaria de peso promedio; ED, energía digestible; PCD, proteína cruda digestible; g, gramos; Lys, lisina; Ca, calcio; P, fósforo; Mg, magnesio; K, potasio; Cl, cloro; Na, sodio.
 *Ganancias diarias de peso promedio según tasa de crecimiento sugerida por Martin-Rosset, 2004⁸

Anexo 7. Requerimientos nutricionales totales para potros en crecimiento cuyo peso promedio adulto de la raza es de 650 kg

Peso Adulto Promedio (kg)	Edad (meses)	Peso (kg)	GDPP* (kg)	ED (Mcal)	PCD (g)	Lys (g)	Ca (g)	P (g)	Mg (g)	K (g)	Cl (g)	Na (g)
650												
	1	117	1.811	18.3	499.4	46.7	66.4	36.9	4.0	11.3	10.9	4.2
	3	227.5	0.714	18.1	317.1	29.6	39.2	21.8	4.3	13.5	21.2	5.3
	6	292.5	0.356	18.8	276.7	25.9	32.5	18.0	4.8	15.7	27.2	6.2
	18	422.5	0.250	18.7	376.9	35.2	38.4	21.3	6.7	21.9	39.3	8.7
	24	468	0.273	20.3	416.1	38.9	42.4	23.6	7.4	24.2	43.5	9.6
	42	617.5	0.059	19.1	432.0	40.4	46.4	25.8	9.3	31.1	57.4	12.4
	60	650	-	19.1	430.6	40.2	46.8	26.0	9.8	32.5	60.5	13.0

GDPP, ganancia diaria de peso promedio; ED, energía digestible; PCD, proteína cruda digestible; g, gramos; Lys, lisina; Ca, calcio; P, fósforo; Mg, magnesio; K, potasio; Cl, cloro; Na, sodio.
 *Ganancias diarias de peso promedio según tasa de crecimiento sugerida por Martin-Rosset, 2004⁸

Anexo 8. Requerimientos nutricionales totales para potros en crecimiento cuyo peso promedio adulto de la raza es de 700 kg

Peso Adulto Promedio (kg)	Edad (meses)	Peso (kg)	GDPP* (kg)	ED (Mcal)	PCD (g)	Lys (g)	Ca (g)	P (g)	Mg (g)	K (g)	Cl (g)	Na (g)
700												
	1	126	1.951	19.5	537.8	50.3	71.5	39.7	4.3	12.2	11.7	4.5
	3	245	0.769	19.2	341.5	31.9	42.3	23.5	4.6	14.6	22.8	5.7
	6	315	0.384	19.9	298.0	27.9	35.0	19.4	5.2	16.9	29.3	6.7
	18	455	0.269	19.8	405.9	37.9	41.4	23.0	7.2	23.6	42.3	9.4
	24	504	0.294	21.5	448.1	41.9	45.7	25.4	7.9	26.1	46.9	10.4
	42	665	0.064	20.2	465.2	43.5	49.9	27.7	10.1	33.4	61.8	13.4
	60	700	-	20.1	463.7	43.3	50.4	28.0	10.5	35.0	65.1	14.0

GDPP, ganancia diaria de peso promedio; ED, energía digestible; PCD, proteína cruda digestible; g, gramos; Lys, lisina; Ca, calcio; P, fósforo; Mg, magnesio; K, potasio; Cl, cloro; Na, sodio.
 *Ganancias diarias de peso promedio según tasa de crecimiento sugerida por Martin-Rosset, 2004⁸