



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**

**REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES Y VALOR NUTRITIVO DE LOS  
ALIMENTOS EN EQUIDOS DE TRABAJO: ESTUDIO RECAPITULATIVO.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

**P R E S E N T A**

**HERRERA LEON ARTURO**

**ASESORES:**

**MVZ MC. MARIANO HERNANDEZ GIL  
PhD R. ANNE PEARSON**

**MEXICO, DF.**

**2007**



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:

A quien les debo todo, y en los cuales siempre encontré amor, cariño, paciencia, apoyo y sobre todo confianza para creer en mí. En ustedes encontré todos los valores que me han hecho ser una persona como lo soy ahora, mostrándome el camino correcto de las cosas y el superarse profesionalmente. Los amo más que a nada en este mundo.

A mi familia:

En la cual siento un apoyo incondicional y en todos ellos encontrar el valor del significado de esta palabra.

A mis hermanos:

Tony, Ana y Poncho; no me imagino mi vida sin ustedes.

A Mariano Hernández:

Por que, más que ser un asesor y mi jefe en el programa DS-ILPH-UNAM, es un amigo incondicional; por siempre estar conmigo en los buenos y malos momentos y sobre todo ser un modelo a seguir en mí desarrollo profesional. Gracias por todo hermano.

A mis mejores amigos:

Jorge, Antonio, Tere, José, Andy, y Eliza; por siempre contar con ustedes en los momentos en los que los he necesitado, ya que cada uno de ellos es especial para mí.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia por permitirme ser parte de ella y darme las armas necesarias para ser un hombre de provecho.

Al MVZ MC. Mariano Hernández Gil:

Por brindarme todo su apoyo en la elaboración de esta tesis y que sin su ayuda no hubiera sido posible la culminación de este estupendo trabajo.

A la MVZ. Aline Schunemann:

Por creer en mí y brindarme todo su apoyo en estos últimos años.

A la PhD R. Anne Pearson

Por brindarme su mano, y aparte de ser mi asesor ser una persona influyente en mi desarrollo profesional.

Al Dr. Humberto Troncoso Altamirano:

Por colaborar en el desarrollo de esta tesis, brindarme totalmente su ayuda y más que ser un sinodal; ser como un amigo.

Al programa DS-ILPH-UNAM

Por darme la oportunidad de trabajar y desarrollarme profesionalmente el tiempo que trabaje para ellos.

## **DECLARACIÓN**

El presente trabajo no ha sido aceptado para el otorgamiento de grado alguno en ninguna institución. La tesis es el resultado de las investigaciones del autor, excepto donde se indique lo contrario al dar reconocimiento a las fuentes de información consultadas.

El autor da consentimiento a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, para que la tesis esté disponible para cualquier tipo de reproducción e intercambio bibliotecario.

PMVZ Arturo Herrera León

Junio, 2007

## INDICE GENERAL

	Pág.
<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	3
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	5
<b>II. OBJETIVOS</b> .....	11
<b>2.1. General</b> .....	11
<b>2.2. Específicos</b> .....	11
<b>III. MATERIAL Y MÉTODO</b> .....	12
<b>3.1. Libros</b> .....	12
<b>3.2. Revistas arbitradas</b> .....	14
<b>3.3. Memorias de congresos</b> .....	15
<b>3.4. Tesis</b> .....	16
<b>3.5. Información disponible en internet</b> .....	16
<b>3.6. Consulta con expertos en el área de nutrición equina</b> .....	17
<b>IV. ANALISIS DE LA INFORMACIÓN Y DISCUSIÓN</b> .....	18
<b>4.1. Anatomía y fisiología digestiva del équido</b> .....	18
4.1.1. Boca.....	19
4.1.2. Faringe y esófago.....	21
4.1.3. Estómago.....	21
4.1.4. Intestino delgado.....	22
4.1.5. Ciego.....	24
4.1.6. Colon mayor.....	26

4.1.7. Colon menor.....	27
4.1.8. Recto.....	27
<b>4.2. Conceptos nutricionales y su aplicación en équidos.....</b>	<b>28</b>
4.2.1. Alimento.....	28
4.2.2. Fracciones del alimento.....	28
a. Agua.....	29
b. Materia seca.....	29
<i>Materia inorgánica (minerales)</i> .....	30
<i>Materia orgánica</i> .....	33
<i>Carbohidratos</i> .....	34
<i>Carbohidratos no estructurales</i> .....	35
<i>Carbohidratos estructurales</i> .....	36
<i>Fibra</i> .....	37
<i>Fibra detergente neutro (FDN)</i> .....	40
<i>Fibra detergente ácido (FDA)</i> .....	40
<i>Fibra detergente neutro soluble (FDNS)</i> .....	40
<i>Lípidos</i> .....	41
<i>Proteínas</i> .....	45
<i>Aminoácidos</i> .....	50
<i>Vitaminas</i> .....	51
4.2.3. Calidad del alimento.....	54
4.2.4. Digestibilidad del alimento.....	54

4.2.5. Metabolismo.....	55
4.2.6. Valor nutritivo del alimento.....	58
a. Valor energético.....	58
b. Valor proteico.....	66
4.2.7. Requerimientos.....	71
a. Mantenimiento.....	72
<i>Energía para mantenimiento.....</i>	72
<i>Proteína para mantenimiento.....</i>	75
b. Reproducción.....	78
c. Lactación.....	79
d. Crecimiento.....	80
e. Trabajo.....	81
f. Otros factores afectando los requerimientos.....	84
4.2.8. Consumo voluntario.....	85
<b>4.3. Sistemas de alimentación en equinos.....</b>	<b>89</b>
4.3.1. Diferencias en el nivel de energía.....	90
4.3.2. Diferencias en el nivel de proteína.....	93
4.3.3. Eligiendo un sistema de alimentación.....	94
<b>4.4. Cálculo de los requerimientos nutricionales de los équidos.....</b>	<b>99</b>
4.4.1. Consumo total de materia seca .....	99
4.4.2. Requerimientos de energía digestible.....	102
a. Mantenimiento.....	102
<i>Ajustes por tasa metabólica.....</i>	104

b. Trabajo.....	105
<i>Ejercicio</i> .....	106
<i>Trabajo de campo</i> .....	107
<i>Energía para caminar en una pendiente cuesta arriba...</i>	110
<i>Energía para caminar en una pendiente cuesta abajo.....</i>	111
c. Gestación.....	112
d. Lactancia.....	113
e. Crecimiento.....	113
4.4.3. Requerimientos de proteína digestible.....	114
a. Mantenimiento.....	114
b. Trabajo.....	115
c. Gestación.....	116
d. Lactación.....	116
e. Crecimiento.....	117
4.4.4. Requerimientos de fibra.....	117
4.4.5. Requerimientos de agua.....	118
4.4.6. Requerimientos de minerales.....	121
a. Mantenimiento y trabajo.....	121
b. Gestación.....	123
c. Lactación.....	124
d. Crecimiento.....	125
4.4.7. Requerimientos de vitaminas.....	126

<b>4.5. Alimentos comunes para équidos y sus particularidades físicas y químicas.....</b>	<b>127</b>
4.5.1. Forrajes.....	127
4.5.2. Concentrados.....	128
4.5.3. Evaluación física de los alimentos para équidos.....	129
4.5.4. Evaluación química de los alimentos para équidos.....	131
a. Químico Proximal (AQP) y Paredes Celulares (Van Soest) .....	132
b. Lípidos.....	140
c. Vitaminas.....	141
d. Minerales.....	143
<b>4.6. Métodos matemáticos para estimar el valor nutricional de los alimentos en équidos.....</b>	<b>146</b>
4.6.1. Energía digestible en forrajes.....	146
4.6.2. Energía digestible en concentrados.....	148
4.6.3. Proteína cruda digestible en forrajes y concentrados.....	150
4.6.4. Balance electrolítico.....	152
<b>4.7. Modelos conceptuales.....</b>	<b>155</b>
4.7.1. Modelo de anatomía y fisiología digestiva equina.....	155
4.7.2. Modelo de forrajes para équidos.....	157
4.7.3. Modelo de concentrados para équidos.....	159
4.7.4. Modelo de digestibilidad de los alimentos para équidos .....	160
4.7.5. Modelo de valor nutricional de los alimentos para équidos.....	161

4.7.6. Modelo de requerimientos nutricionales de los équidos.....	163
4.7.7. Modelo de consumo voluntario en équidos.....	165
4.7.8. Modelo de distribución de energía en équidos.....	167
4.7.9. Modelo de digestión de proteína en équidos.....	168
<b>V. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>171</b>
<b>VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>173</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. Contenido de materia seca en diferentes alimentos.....</b>	<b>29</b>
<b>Tabla 2. Contenido de cenizas de algunos alimentos para équidos...</b>	<b>30</b>
<b>Tabla 3. Principales implicaciones de macrominerales en el organismo.....</b>	<b>31</b>
<b>Tabla 4. Principales implicaciones algunos microminerales en el organismo.....</b>	<b>31</b>
<b>Tabla 5. Carbohidratos comunes en alimentos.....</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 6. Principales ácidos grasos de importancia fisiológica y nutricional.....</b>	<b>42</b>
<b>Tabla 7. Clasificación de las proteínas.....</b>	<b>46</b>
<b>Tabla 8. Porcentajes promedio de proteína cruda en alimentos para équidos.....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 9. Aminoácidos de importancia nutricional.....</b>	<b>50</b>
<b>Tabla 10. Aminoácidos esenciales en la dieta de équidos.....</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 11. Implicaciones de las vitaminas liposolubles en el organismo.....</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 12. Implicaciones de las vitaminas hidrosolubles en el organismo.....</b>	<b>53</b>
<b>Tabla 13. Algunos productos metabólicos de importancia para el organismo.....</b>	<b>56</b>

<b>Tabla 14. Productos finales de la digestión (g kg-1 de MS), proporción de energía absorbida (EA) y valores <i>km</i> derivados de algunos alimentos.....</b>	<b>64</b>
<b>Tabla 15. Diferencias en consumo de acuerdo al tipo de forraje ofrecido en dietas de caballos.....</b>	<b>99</b>
<b>Tabla 16. Límites de consumo de alimento en caballos.....</b>	<b>101</b>
<b>Tabla 17. Comparación entre requerimiento estimado de energía digestible para mantenimiento con tres ecuaciones diferentes y para tres pesos distintos.....</b>	<b>104</b>
<b>Tabla 18. Factores de ajuste de requerimientos de mantenimiento dependiendo del tipo y nivel de actividad del caballo.....</b>	<b>105</b>
<b>Tabla 19. Requerimientos de energía para ejercicio en caballos.....</b>	<b>106</b>
<b>Tabla 20. Energía empleada en el gasto para desempeñar un trabajo.....</b>	<b>108</b>
<b>Tabla 21. Costo energético por caminar en diferentes superficies de suelo para ganado.....</b>	<b>109</b>
<b>Tabla 22. Costos de energía empleados para équidos de trabajo cargando.....</b>	<b>111</b>
<b>Tabla 23. Ecuaciones para estimar el requerimiento extra de ED en yeguas lactando.....</b>	<b>113</b>
<b>Tabla 24. Requerimiento de proteína cruda digestible de mantenimiento en equinos.....</b>	<b>115</b>

<b>Tabla 25. Requerimientos de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) para équidos.....</b>	<b>118</b>
<b>Tabla 26. Consumo promedio de agua para équidos.....</b>	<b>120</b>
<b>Tabla 27. Factores que influyen en los requerimientos y pérdida de agua en los équidos.....</b>	<b>120</b>
<b>Tabla 28. Requerimientos de Ca, P, Mg, K, lisina y Vit. A en equinos.....</b>	<b>121</b>
<b>Tabla 29. Recomendaciones de minerales para los requerimientos de caballos por kg diario de alimento (como alimento -10% de humedad) .....</b>	<b>123</b>
<b>Tabla 30. Ecuaciones para estimar el requerimiento extra de Ca en yeguas lactando.....</b>	<b>124</b>
<b>Tabla 31. Ecuaciones para estimar el requerimiento de P en yeguas lactando.....</b>	<b>124</b>
<b>Tabla 32. Ecuaciones para estimar el requerimiento extra de Mg en yeguas lactando.....</b>	<b>125</b>
<b>Tabla 33. Ecuaciones para estimar el requerimiento extra de K en yeguas lactando.....</b>	<b>125</b>
<b>Tabla 34. Recomendación de vitaminas para los requerimientos de caballos por kg diario de alimento (como alimento – 10% de humedad).....</b>	<b>126</b>
<b>Tabla 35. Clasificación de los principales forrajes utilizados en la alimentación de équidos en México.....</b>	<b>127</b>

<b>Tabla 36. Criterios para la evaluación física de los forrajes para la alimentación de équidos.....</b>	<b>129</b>
<b>Tabla 37. Criterios para la evaluación física de concentrados para la alimentación de équidos.....</b>	<b>130</b>
<b>Tabla 38. Parámetros químicos de importancia nutricional en los forrajes frescos de uso más común para la alimentación de équidos.....</b>	<b>136</b>
<b>Tabla 39. Parámetros químicos de importancia nutricional en los forrajes henificados de uso más común para la alimentación de équidos.....</b>	<b>137</b>
<b>Tabla 40. Parámetros químicos de importancia nutricional en las pajas y rastrojos de uso más común para la alimentación de équidos.....</b>	<b>138</b>
<b>Tabla 41. Parámetros químicos de importancia nutricional en los granos de uso más común para la alimentación de équidos.....</b>	<b>139</b>
<b>Tabla 42. Parámetros químicos de importancia nutricional en algunos concentrados comerciales para la alimentación de équidos.....</b>	<b>139</b>
<b>Tabla 43. Proporción de ácidos grasos en la fracción grasa de algunos granos utilizados en la alimentación de équidos....</b>	<b>141</b>

<b>Tabla 44. Concentración promedio de vitaminas en forrajes utilizados para la alimentación de équidos.....</b>	<b>141</b>
<b>Tabla 45. Concentración promedio de vitaminas en granos utilizados para la alimentación de équidos.....</b>	<b>142</b>
<b>Tabla 46. Concentración promedio de minerales de importancia nutricional, en forrajes frescos de uso común en la alimentación de équidos.....</b>	<b>143</b>
<b>Tabla 47. Concentración promedio de minerales de importancia nutricional, en forrajes henificados de uso común en la alimentación de équidos.....</b>	<b>144</b>
<b>Tabla 48. Concentración promedio de minerales de importancia nutricional, en pajas y rastrojos de gramíneas de uso común en la alimentación de équidos.....</b>	<b>144</b>
<b>Tabla 49. Concentración promedio de minerales de importancia nutricional, en granos de uso común en la alimentación de équidos.....</b>	<b>145</b>
<b>Tabla 50. Concentración promedio de minerales de importancia nutricional, en concentrados comerciales de uso común en la alimentación de équidos.....</b>	<b>145</b>
<b>Tabla 51. Pronóstico de PCD en alimentos para équidos.....</b>	<b>150</b>

<b>Tabla 52. Relación entre las concentraciones expresadas en milimoles, miliequivalentes y miligramos por litro (=ppm) en algunos elementos.....</b>	<b>154</b>
---	------------

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. Fracciones del alimento.....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 2. Clasificación de los carbohidratos.....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 3. Clasificación de los lípidos.....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 4. Clasificación de las vitaminas por su solubilidad.....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 5. Comparación de digestibilidad de la energía entre especies</b>	<b>61</b>
<b>Figura 6. Fracción y nutriente de un Análisis Químico Proximal.....</b>	<b>133</b>
<b>Figura 7. Fracciones de un análisis de fibra.....</b>	<b>134</b>
<b>Figura 8. Modelo conceptual de la secuencia anatómica y fisiológica en el tracto gastrointestinal de los équidos.....</b>	<b>155</b>
<b>Figura 9. Modelo conceptual de los forrajes para équidos.....</b>	<b>157</b>
<b>Figura 10. Modelo conceptual de los alimentos concentrados para équidos.....</b>	<b>159</b>
<b>Figura 11. Modelo conceptual de la digestibilidad de los alimentos en équidos.....</b>	<b>160</b>
<b>Figura 12. Modelo conceptual del valor nutricional de los alimentos en équidos.....</b>	<b>162</b>
<b>Figura 13. Modelo conceptual de los requerimientos nutricionales de los équidos.....</b>	<b>164</b>
<b>Figura 14. Modelo conceptual del consumo voluntario en équidos....</b>	<b>166</b>

<b>Figura 15. Modelo conceptual de la distribución de la energía en</b>	<b>168</b>
<b>    équidos.....</b>	
<b>Figura 16. Modelo conceptual de la digestión de la proteína en</b>	
<b>    équidos.....</b>	<b>169</b>

## **RESUMEN**

El presente trabajo se hizo con el objetivo de compilar información reciente en torno a la nutrición de los equinos, involucrando conceptos y métodos actuales para el cálculo de los requerimientos nutricionales y valor nutritivo de los alimentos para ser aplicados en la práctica de la alimentación de équidos de trabajo de México. El documento inicia con una reseña de la anatomía y fisiología digestiva del equino, destacando particularidades de digestión en las distintas secciones del tracto y la velocidad de tránsito intestinal. Posteriormente se presentan conceptos nutricionales generales con sus aplicaciones en el caso particular de los équidos, tales como composición de los alimentos, calidad del alimento, metabolismo animal, valor nutritivo del alimento, requerimientos nutricionales y consumo voluntario. Se hace una discusión sobre los diferentes sistemas de alimentación desarrollados en el mundo para trabajar en equinos, destacando las ventajas y desventajas de cada uno, para entonces seleccionar puntos de cada sistema que ayuden a desarrollar un método de alimentación racional y eficiente. Con toda esta base teórica, se presentan los métodos matemáticos más recientes para el cálculo de los requerimientos de materia seca, energía, proteína, fibra, agua, minerales y vitaminas de los equinos en mantenimiento y diferentes estados fisiológicos o niveles de actividad. Enseguida se hace una reseña de los ingredientes comunes en México para la alimentación de los équidos, presentando los métodos físicos y químicos para evaluar la calidad de tales alimentos, con especial atención en la interpretación de los análisis bromatológicos y su utilidad en la nutrición de equinos, para entonces presentar los métodos matemáticos desarrollados con base en consideraciones fisiológicas para estimar el valor nutritivo de los alimentos en equinos. Finalmente, toda la información se integra y simplifica en modelos conceptuales que ayudan a entender los cambios en las

respuestas del animal a la calidad y cantidad de los diferentes ingredientes de la dieta y a detectar los puntos donde el conocimiento en torno a la nutrición de équidos es escaso o no se ajusta bien a las condiciones particulares de México. El resultado es un documento con conceptos recientes para la adecuada nutrición de los équidos, que puede servir como base para proponer un método que funcione en las condiciones de México.

*Palabras clave: equinos, caballos, nutrición, alimentación, requerimientos.*

# NUTRITIONAL REQUIREMENTS AND NUTRITIONAL VALUE OF FEEDSTUFFS IN WORKING EQUINES. A REVIEW. PMVZ Arturo Herrera León.

Advisers: MSc Mariano Hernández Gil y PhD R. Anne Pearson.

## **ABSTRACT**

The present work was done with the aim of compiling recent information around nutrition of equines, including current concepts and methods to estimate the nutritional requirements of and the nutritional value of feedstuffs, to be applied in the practice of feeding working equines in México. The document starts by presenting the digestive anatomy and physiology of the equine, underlying particular aspects of both digestion in different sections of gastrointestinal tract and rate of passage. Afterwards, general nutrition concepts such as food quality, animal metabolism, nutritional value of feedstuffs, nutritional requirements and voluntary feed intake, are presented, specifying their implications in the particular case of equines. A discussion about the different feeding systems for horses developed around the world is presented, emphasizing the advantages and disadvantages of using one or another; then a selection of the good points of each system which may be helpful in developing a rational and efficient feeding method is done. With basis on this theoretical background, latest mathematical methods to calculate requirements of dry matter, energy, protein, fibre, water, minerals and vitamins for equines in maintenance and different physiologic states and level of activity, are presented. The work proceeds with a review of the most common feedstuffs used in Mexico to feed equines, presenting the physical and chemical methods to evaluate the quality of such feedstuffs, with special attention to the right way to interpret the routine laboratory analysis and their usefulness in the nutrition of equines,

then, mathematical models developed with basis in physiologic facts to estimate the nutritional value of feedstuffs in equines, are presented. Finally, all the information is integrated and simplified in conceptual models which are helpful both, in understanding the changes in the response of the animal to the quality and quantity of the different feedstuffs of the diet, and in detecting the points where the knowledge around equine nutrition is scarce or does not correspond to certain conditions of México. The result of this work is a document with current concepts to do proper nutrition of equines, which may be useful as a basis to develop a method which works in the conditions of Mexico.

*Keywords: equines, horses, nutrition, feeding, requirements.*

## I. INTRODUCCIÓN

Los équidos de trabajo intervienen en actividades para la subsistencia del ser humano. Su importancia económica y social ha sido subrayada en diversos trabajos; sobre todo en lo que respecta a su cantidad, distribución y relación con indicadores del grado de desarrollo de un país.<sup>1</sup>

Existen de 400 a 600 millones de animales de trabajo en el mundo<sup>2</sup> de los que alrededor de un 20 % son équidos,<sup>3</sup> con más del 75 % de ellos ubicados en países subdesarrollados.<sup>1</sup> En el primer mundo la población de esta especie es menor por la tecnificación del campo,<sup>3</sup> mientras que en el tercer mundo las condiciones motivan la adquisición y posesión de équidos, que por su versatilidad y requerimientos nutricionales comparativamente menores representan una opción más sustentable.<sup>4</sup>

México es el quinto país con mayor cantidad de équidos.<sup>5</sup> En los últimos 30 años el promedio se ha mantenido en 12 millones de cabezas con el 50 % caballos, 25 % burros y 25 % mulas.<sup>5</sup> Una parte considerable de ellos se utiliza para trabajo; tan solo en 1994 eran 840, 815 caballos, 641, 246 mulas y 1 497, 043 burros trabajando en unidades de producción rural nacional.<sup>2</sup>

La necesidad de utilizar équidos en México es indiscutible, tanto por las condiciones sociales y culturales, como por las económicas y topográficas.<sup>6, 7, 8</sup> En todas las áreas rurales y algunas urbanas, el équido es fuente de poder de gente que, en busca de favorecer la economía familiar y mejorar sus condiciones de vida, desempeña trabajos que imponen esfuerzos mayores.<sup>9, 10</sup>

Los équidos se emplean en actividades distintas. En el medio rural, el caballo se usa para actividades agrícolas, arrastre de vehículos, carga y montura para transporte, manejo de ganado, esparcimiento y festividades. La mula se destina para actividades agrícolas, transporte de cargas mayores, arrastre de vehículos y montura. El asno sirve

en actividades agrícolas y arrastre de vehículos, aunque se prefiere para transporte de cargas livianas y como animal de montura.<sup>2</sup> Por lo que respecta a zonas urbanas, los équidos se utilizan para el tiro de carretas y como medio de transporte, con más horas/día de trabajo y menos días de descanso que su contraparte rural.<sup>3</sup>

Esta diversidad de condiciones en que viven los équidos de trabajo en México determina cambios y diferencias en las prácticas de manejo y en sus necesidades, particularmente las nutricionales.

Los requerimientos nutricionales de un animal están determinados por su especie, peso, estado fisiológico y nivel de producción o actividad;<sup>11</sup> con esta última como responsable de variaciones sustanciales en las necesidades del équido,<sup>12, 13</sup> y a menudo la menos precisamente estimada.

Hasta hace quince años la nutrición de los équidos de trabajo en el mundo se hacía de manera empírica. En México esta situación prevalece no solo para los équidos de trabajo, sino también para los deportivos. Pocos asesores formulan la dieta comenzando por calcular necesidades de energía, proteína y minerales, con variaciones por época del año y nivel de trabajo. Las recomendaciones parten de estimaciones de consumo de materia seca total como una proporción del peso vivo por la relación matemática que este ha mostrado con la capacidad intestinal y ciertos procesos fisiológicos en otras especies;<sup>14, 15</sup> haciendo ajustes de la razón forraje:concentrado de acuerdo a asignaciones subjetivas del nivel de trabajo como ligero, medio o pesado;<sup>16</sup> aproximaciones imprecisas pues ahora se sabe: primero, que más que la capacidad intestinal, es el requerimiento de energía lo que determina el consumo en los équidos<sup>17, 18, 19</sup> y, segundo, que las necesidades para diferentes funciones son aditivas, por lo que el requerimiento se calcula por una aproximación factorial sumando las necesidades para los distintos rubros.<sup>20</sup>

Para el cálculo de los requerimientos existen sistemas que trabajan con los diferentes conceptos de energía;<sup>20</sup> aunque el sistema americano (NRC), con base en energía digestible (ED), y el francés (INRA), con base en energía neta (EN) son los más aceptados.<sup>19, 20</sup> La necesidad de ED se puede calcular con ecuaciones considerando peso vivo, peso metabólico o peso vivo elevado a algún otro exponente;<sup>21, 22, 23, 24</sup> atendiendo lo propuesto por INRA respecto a que los de mantenimiento representan la mayor proporción de los requerimientos,<sup>25, 26</sup> por lo que el punto está en conocer la dimensión del incremento en las necesidades ocasionado por cambios en tipo o nivel de actividad.

Se ha generado información en torno a las implicaciones nutricionales del trabajo en équidos. Los distintos autores proponen que el requerimiento de energía puede ser de 2.0 a 2.5 veces el de mantenimiento en jornadas de trabajo de siete a ocho horas;<sup>27, 28, 29</sup> incremento que, considerando demostraciones en rumiantes, se extiende por varias horas después del trabajo.<sup>30</sup> Estudios mas precisos aportan conclusiones relevantes al estimar el gasto energético por calorimetría indirecta<sup>31</sup> o bien midiendo parámetros físicos de trabajo convertidos a equivalentes energéticos.<sup>32, 33, 34, 35, 36</sup> El costo de caminar con o sin cargas<sup>37</sup> y el efecto de las condiciones del terreno,<sup>38</sup> difieren entre una y otra actividad, resultando trascendentales al estimar requerimientos energéticos de équidos.<sup>29</sup>

En cuanto a nutrición proteica, son pocos los estudios en animales de trabajo. Generalmente se sugiere que los incrementos son ligeros, salvo en los casos de pobre condición corporal.<sup>13</sup> Las estimaciones de requerimientos de proteína se hacen con base en proteína cruda, aunque debido a la variación en digestibilidad de los distintos forrajes y concentrados, parece que lo más adecuado es cubrir requerimientos con base en proteína cruda digestible, partiendo por estimar los de mantenimiento con base en una

proporción proteína:energía, manteniendo tal relación ante incrementos en el requerimiento energético.

Además de los aspectos de materia seca, energía y proteína, la nutrición implica agua, electrolitos y minerales. Los caballos sudan durante el trabajo y pierden gran cantidad de sal y líquido.<sup>13, 39, 40, 41</sup> Reconsiderar los requerimientos de agua en équidos y sus efectos sobre el consumo voluntario, la digestión y el balance electrolítico<sup>42, 43, 44</sup> proporcionará datos para hacer sugerencias fundadas. Asimismo, con datos de estudios del balance electrolítico y equilibrio ácido base en équidos deportivos<sup>45, 46, 47, 48</sup> y de trabajo,<sup>49, 50</sup> es posible ahora calcular los requerimientos de electrolitos de acuerdo al gasto de energía.

Respecto a los burros y sus particularidades, hay resultados<sup>51, 52</sup> que, junto con observaciones empíricas, sugieren que este animal muestra una alta eficiencia en el trabajo<sup>38, 53</sup> y, sobre todo, una especial habilidad para extraer nutrientes de alimentos de pobre calidad<sup>54</sup> lo que sugiere revisar aspectos de calidad y valor nutricional de los alimentos de uso común en los équidos de México.

Las características físico-químicas reflejan la calidad y el contenido de nutrientes del alimento.<sup>55</sup> El valor nutricional, por su parte, depende de la calidad del alimento y de la habilidad del animal para extraer nutrientes para cubrir sus necesidades.<sup>55</sup>

La tasa de extracción de nutrientes es producto del consumo y la digestibilidad del alimento en las porciones del tracto gastrointestinal.<sup>19, 56</sup> Aunque hay reportes del efecto del contenido de proteína cruda y FDN,<sup>29</sup> no es sencillo predecir el consumo en équidos con base en el análisis del forraje, ya que la relación que muestra con el contenido de paredes celulares es pobre,<sup>19</sup> sugiriendo que el consumo no está determinado por el contenido de tales fracciones,<sup>57, 58</sup> a menos que se considere la

masticación, disminuyendo el consumo conforme aumenta el contenido de fibra lignificada.<sup>19, 54, 59</sup>

Conocer la calidad del alimento, principalmente contenidos celulares y FDA, tiene utilidad para el pronóstico del aporte energético en tanto se conozca la digestibilidad de la materia orgánica.<sup>20</sup> En la actualidad se dispone de ecuaciones para pronosticar el aporte de ED de los alimentos para equinos;<sup>60</sup> aunque en dietas altas en fibra se sobreestima el aporte energético, lo que se atribuye a la menor eficiencia de utilización del forraje por el incremento calórico durante su digestión,<sup>20, 61</sup> elevando el requerimiento de ED de un 15 a 25 por ciento en dietas de forraje.<sup>16, 20, 26</sup>

La forma y naturaleza del alimento afectan su digestión<sup>61, 62</sup> y metabolismo, sobre todo en cuanto a captación de nutrientes y disponibilidad de sustrato;<sup>20</sup> de hecho, algunos sistemas de alimentación consideran el sustrato producido a partir de cada ingrediente para procurar un aporte adecuado a los diferentes tejidos durante el ejercicio de acuerdo con las demandas de cada actividad zootécnica, consideración necesaria en équidos de trabajo ya que la intensidad y duración de ejercicio cambia con el tipo de trabajo, lo que debe repercutir en la captación y utilización de sustratos.<sup>16, 20</sup>

Como se ha dicho, las actividades en que se utilizan los équidos difieren, por lo que la nutrición debe ser diferente entre zonas urbanas y rurales tanto en requerimientos como tipo de alimento a que se tiene acceso. El propietario rural produce, mientras que el de ciudad compra el alimento; en ambos, el caso es procurar la nutrición correcta evitando salidas económicas innecesarias. Aplicar conceptos actuales de nutrición a nivel mundial en la alimentación de équidos de trabajo en México, rendirá beneficios importantes al mejorar su condición y capacidad de trabajo, manejando adecuadamente los casos que requieren un aporte específico de nutrientes al tiempo que se procura el uso eficiente de recursos.<sup>63</sup>

Sin embargo, cualquier iniciativa para mejorar las condiciones de los équidos debe comenzar por una buena comunicación con el propietario.<sup>64</sup> El mayor reto para el especialista en équidos es convencer a la gente que invertir tiempo y dinero no solo mejorará las condiciones del animal, sino también las suyas; desafortunadamente, el asesor suele carecer de una base firme para ello, lo que causa que menos del 15 % de sus actividades se enfoquen a resolver problemas de nutrición.<sup>65</sup>

Con el afán de contribuir al bienestar de los équidos de México y ofrecer a los interesados en el tema un documento con conceptos y métodos actuales en nutrición equina, el presente trabajo compila información científica reciente, generada a nivel mundial, en torno a requerimientos nutricionales de équidos y valor nutritivo de los alimentos en ellos, con posibilidades de utilizarse para el desarrollo de un método de alimentación de équidos de trabajo que funcione en las condiciones de México.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. General**

Presentar conceptos y métodos actuales para el cálculo de los requerimientos nutricionales y valor nutritivo de los alimentos equinos para su aplicación en la alimentación de équidos de trabajo de México.

### **2.2. Específicos**

2.2.1. Elaborar un documento con conceptos recientes para la adecuada nutrición de los équidos.

2.2.2. Proponer un método para la formulación de dietas para équidos de trabajo en México.

### **III. MATERIAL Y MÉTODO**

#### **3.1. Libros especializados en tópicos de:**

- Nutrición animal:
  - Animal nutrition
  - Nutritional ecology of the ruminant
  - Fundamentos de la nutrición y alimentación de los animales
  - Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism
  - Forage evaluation in ruminant nutrition
  
- Nutrición equina
  - Equine nutrition and feeding
  - Feeding horses in Australia
  - Horse feeding and nutrition
  - Equine clinical nutrition
  - Nutrition of the performance horse
  - Encyclopaedia of Agricultural Science
  - Metabolic and endocrine problems of the horse
  
- Anatomía y Fisiología equina
  - Book of horses
  - Equine exercise physiology
  - The anatomy of the domestic animals
  - Profesional handbook of the donkey
  - Size, function and life history
  - Clinical anatomy and common disorders of the horses
  
- Bioquímica y metabolismo

- The fire of life
- Bioquímica de Harper
- Bioenergética animal
- Análisis y evaluación de los forrajes
  - Feeding horses in Australia
  - Tablas de composición y valor nutritivo de las materias primas destinadas a los animales de interés ganadero
  - The mineral nutrition of livestock
  - Citología e histología vegetal y animal
  - Agronomy of grassland systems
  - Forages and their role in animal systems
- Composición química de los alimentos
  - The mineral nutrition of livestock
  - Feeding horses in Australia
- Requerimientos nutricionales de los caballos
  - Feeding horses in Australia
  - The mineral nutrition of livestock
  - Feeding systems and feed evaluation models
- Condiciones de los équidos de trabajo
  - Y sigue la yunta Andando

### **3.2. Revistas arbitradas:**

- American Journal of Clinical Nutrition
- American Society of Agronomy
- Animal Feed Science and Technology

- American Journal of Veterinarian Research
- Animal Production
- Annual Reviews Nutrition
- Annales de Zootechnie
- Biochemistry Physiology
- British Journal of Nutrition
- British Society of Animal Production
- Canadian Journal of Animal Science
- Canadian Journal of Veterinary Research
- Energy Metabolism
- Equine Journal
- Equine Nutrition and Physiology
- Equine Practice
- Equine Veterinary Education
- Equine Veterinary Journal
- Equine Veterinary Science
- European Association for Animal Production
- Evolution
- Extension Dairy Specialist
- Feedstuffs
- Journal Equine Veterinary Science
- Journal of Animal Science
- Journal of Applied Physiology
- Journal of Dairy Science
- Journal of Nutrition

- Journal of Physiology
- Journal of the American Veterinary Association
- Journal of Theoretical Biology
- Kentucky Equine Research
- Livestock Production Science
- Nutrition of the Performance Horse
- Proceedings of the Nutrition Society
- Ruminant Physiology
- Sports Medicine
- Veterinary Record
- World Animal Science
- World Equine Veterinary Review

### **3.3. Memorias de congresos y consejos de especialistas en equinos**

- 1<sup>er</sup> Coloquio Internacional “Donkeys, mules and horses in Tropical Agriculture Development”, 1990
- 2<sup>do</sup> Coloquio Internacional “Donkeys, mules and horses in Tropical Agriculture Development”, 1994
- 3<sup>er</sup> Coloquio Internacional “Donkeys, mules and horses in Tropical Agriculture Development”, 1998
- 4<sup>to</sup> Coloquio Internacional “Donkeys, mules and horses in Tropical Agriculture Development”, 2002
- 8<sup>th</sup> Equine Nutrition Physiology Symposium, 1983
- 13<sup>th</sup> Equine Nutrition Physiology Symposium, 1993
- 2<sup>nd</sup> Equine Exercise Physiology Symposium, 1987

- 31<sup>st</sup> California Alfalfa & Forage Symposium, 2001

### **3.4. Tesis publicadas en México**

- Desarrollo de un modelo conceptual para la simulación dinámica, mecánica del consumo voluntario de bovinos en pastoreo en los trópicos.

### **3.5. Información disponible en internet**

- <http://www.forages.psu.edu/agfacts/agfact32.pdf>
- <http://www.truill.uiuc.edu/pasturenet/paperDisplay?ContentID=8139>
- <http://www.umext.maine.edu/onlinepubs/PDFpubs/1006.pdf>
- <http://www.noble.org/ag/Forage/HorseForage/page13.html>
- <http://www.canr.uconn.edu/ansci/ext/hayanalysis.htm>
- <http://www.pubs.caes.uga.edu/caespubs/pubcd/B1224.htm>
- [http://fermat.nap.edu/openbook.php?record\\_id=1398&page=128](http://fermat.nap.edu/openbook.php?record_id=1398&page=128)
- <http://www.horsehage.co.uk/2005/guideTOforage.html>
- [http://www.dayvillesupply.com/doc/hay\\_purina.htm#](http://www.dayvillesupply.com/doc/hay_purina.htm#)
- <http://www.equidiet.com.ar/pb/rd.php/sections/show>
- [http://glsdogs.com/catalog/alimento\\_caballos.php](http://glsdogs.com/catalog/alimento_caballos.php)
- [http://www.ext.vt.edu/news/periodicals/livestock/aps-06\\_10/aps-373.html](http://www.ext.vt.edu/news/periodicals/livestock/aps-06_10/aps-373.html)
- [http://www4.cajamar.es/servagro/fertilizacion/tabla\\_equi/tabla\\_equiva.htm](http://www4.cajamar.es/servagro/fertilizacion/tabla_equi/tabla_equiva.htm)
- <http://www.patentstorm.us/patents/5505968.html>

- <http://www.omafra.gov.on.ca/english/%20livestock/horses/facts/05-055.htm>
- <http://www.completerider.com/buyinghay.htm>,
- <http://horse.purinamills.com/>
- [http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/94Cap\\_XII.pdf#search](http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/94Cap_XII.pdf#search)
- <http://www2.dpi.qld.gov.au/dairy/13598.html>
- <http://www.asft.ttu.edu/cfire/databases/horse.html>
- [http://4h.ifas.ufl.edu/Curriculum/projects/animal\\_sci/HS\\_pdfs/HSM11/hsm1](http://4h.ifas.ufl.edu/Curriculum/projects/animal_sci/HS_pdfs/HSM11/hsm1)
- [http://www.blueseal.com/techtalks/evaluating\\_carbohydrates\\_in\\_equine\\_nutrition.htm](http://www.blueseal.com/techtalks/evaluating_carbohydrates_in_equine_nutrition.htm)
- <http://crop.scijournals.org/cgi/content/full/39/5/1265>
- <http://www.cursur.udg.mx/vet/digestivo.doc>
- <http://www.fao.org>.

### **3.6. Consulta con expertos en el área de nutrición equina**

- Dr. Humberto Troncoso Altamirano. FMVZ-UNAM.
- Dra. Anne R. Pearson. Universidad de Edimburgo, Escocia.
- Annete Zeyner. Institute of Animal Nutrition, Nutritional Diseases and Dietetics. University of Leipzig, Germany.
- PhD. Paul Siciliano. Department of Animal Science, Colorado State University.

## IV. ANALISIS DE LA INFORMACION

### 4.1. Anatomía y fisiología digestiva del équido.

Los équidos actuales (caballos, burros, cebras y hemiones) son el resultado de un largo proceso de evolución. El ancestro común más antiguo conocido de los équidos, el *Hyracotherium*, apareció en el período Eoceno hace aproximadamente 50 millones de años y era de talla similar a un conejo,<sup>61</sup> con una tasa metabólica elevada y altas necesidades nutricionales; mismas que cubría al consumir follajes arbustivos cuyo contenido de nutrientes y digestibilidad aseguraban el aporte de sustratos para el metabolismo de los diferentes tejidos del animal.<sup>57, 61</sup>

Los cambios radicales en el entorno natural de aquellos animales trajeron cambios en el tipo y disponibilidad de alimento. El *Hyracotherium* enfrentó entonces una dieta diferente por lo que tuvo que experimentar adaptaciones anatómicas, fisiológicas y conductuales, pasando por varias etapas evolutivas, hasta llegar al actual género *Equus*, del cual se destacan peculiaridades morfo-fisiológicas en el aparato locomotor y digestivo. Cambios que, incluso, debieron darse de manera sincronizada.<sup>61</sup>

En primer lugar, la nueva dieta tenía un mayor contenido de fibra, lo que requería incluir a la fermentación en el proceso digestivo para lograr una mayor extracción de nutrientes. Esta situación llevó al animal a aumentar su talla para dar espacio a un tubo digestivo de mayor tamaño que permitiera el establecimiento de una población microbiana y entonces funcionara como una cámara de fermentación capaz de digerir la fibra. Este aumento en la talla corporal trajo también cambios en el aparato locomotor para proporcionar al animal una mayor habilidad para desplazarse en los terrenos que ahora habitaba y desarrollar la velocidad como estrategia de defensa ante sus depredadores.<sup>61</sup>

El aumento en la talla corporal implicó una reducción de la tasa metabólica del équido; sin embargo, sus necesidades nutricionales especiales se mantuvieron. Entre estas necesidades, se halla la de contar con una dieta que contenga carbohidratos solubles con posibilidades de ser absorbidos en las porciones intestinales previas a las cámaras de fermentación y disponer así de sustratos que al metabolizarse rindieran una mayor cantidad de energía, o que rindieran energía en condiciones de anaerobiosis, para ser disponible a músculos y tendones al momento del ejercicio.<sup>62</sup> Así pues, el équido experimentó adaptaciones en su sistema digestivo para asegurar la extracción de nutrientes en calidad y cantidad suficiente a partir de lo que disponía.<sup>57, 61, 63, 64</sup>

La evolución del équido implicó cambios anatómicos, fisiológicos y conductuales para adaptarse a las variaciones ambientales, dando como resultado un animal estrictamente herbívoro con las características anatómicas de un monogástrico, pero con capacidades fisiológicas digestivas mixtas, pues digiere y absorbe carbohidratos solubles, grasas y proteínas en estómago e intestino delgado con la actividad enzimática de cualquier mamífero, pero también digiere fracciones fibrosas en ciego y colon a través de un proceso de fermentación microbiana como sucede en el retículo-rumen de un rumiante.<sup>57, 61</sup> De ahí que los équidos, de acuerdo a sus hábitos alimenticios y particularidades digestivas, se clasifiquen como animales herbívoros, pastoreadores, monogástricos y fermentadores.<sup>57, 61</sup>

#### 4.1.1. Boca

Los labios, lengua y dientes del caballo están perfectamente adaptados para la prensión, ingestión y modificación de la forma física de los alimentos de manera que resulten adecuados para su paso a lo largo del tracto gastrointestinal.<sup>66</sup>

Es durante la masticación, con la actividad trituradora de los dientes, acompañada de una insalivación profusa, cuando las partículas del alimento son reducidas a un tamaño apto para formar un bolo adecuado para la deglución. A este punto, cabe destacar que los équidos, a diferencia de otros herbívoros consumiendo naturalmente las mismas dietas, no desarrollaron el proceso fisiológico de rumia; por consiguiente, la reducción en el tamaño de partícula del alimento debe ser total antes de que el bolo sea deglutido.<sup>66, 67</sup>

Se ha propuesto, de hecho, que el tamaño de tales partículas debe ser menor a 1.6 mm de longitud. Para conseguirlo, se requiere un número considerable de movimientos masticatorios que con alimentos como los concentrados, pueden ir de los 800 a los 1200 movimientos por kilogramo de concentrado, en tanto que en henos pueden ser de hasta 3000 o 3500 movimientos por kilogramo de forraje.<sup>67</sup>

La presencia de alimento en la boca estimula la secreción de saliva que, en condiciones normales, se secreta en cantidades de 10 a 12 litros al día. La saliva no tiene actividad enzimática, pero su contenido de bicarbonatos (50 meqiv/l) le confiere capacidad amortiguadora y la presencia de mucina le confiere propiedades lubricantes.<sup>67, 68</sup>

Considerando los requerimientos nutricionales, es fácil comprender la importancia de la boca en el equino. Su primera función es la de la selectividad gracias a la sensibilidad con la que cuenta resultado una serie de terminaciones nerviosas. En condiciones naturales, esta selectividad asegura que el animal obtenga alimentos con un contenido de nutrientes en cantidad y calidad suficientes para cubrir sus demandas especiales.

La segunda función importante de la boca es la masticación. Gracias a este proceso las fracciones de alimento son trituradas y los nutrientes quedan expuestos a la actividad digestiva tanto de las enzimas del animal como de la población microbiana.<sup>66</sup>

#### 4.1.2. Faringe y esófago

La faringe es un saco músculo-membranoso (muscular y mucosa) que conecta vías digestivas y respiratorias. El esófago al igual que la faringe es un tubo músculo-membranoso que conecta la faringe con el estómago, nace en la parte dorsal a la laringe y toma una trayectoria por el cuello hacia la izquierda del plano medio, cruzando el diafragma con el hiato esofágico.<sup>69, 70</sup>

#### 4.1.3. Estómago

El estómago de los caballos adultos es un órgano pequeño, cuya capacidad de 7.5 a 15 litros (8 a 9 litros en burros) representa aproximadamente el diez por ciento del volumen total del tracto gastrointestinal. El tiempo de permanencia del alimento en el estómago es relativamente corto; sin embargo, rara vez se encuentra vacío y una parte importante del alimento permanece en esta sección del tracto hasta por dos o tres horas y el agua de 30 a 60 minutos. Si el caballo bebe agua, esta pasa por la curvatura mayor del estómago por lo que no se produce el mezclado con los alimentos ni la dilución de los jugos digestivos.<sup>70, 71</sup>

El paso al estómago está regulado por una válvula muscular denominada cardias. Esta estructura tiene una disposición particular que evita la regurgitación, o aún el vómito, y la expulsión de los gases.<sup>70, 71</sup>

La secreción de jugo gástrico se estima entre 10 y 30 litros, pareciendo estar estimulada por la presencia física de los alimentos en el órgano, pero no por la visión u

olor de los mismos. De hecho, la secreción de jugos gástricos continúa durante el ayuno.

67, 71

El acto de la masticación estimula la secreción de saliva; fuente de iones de sodio, potasio, bicarbonato y cloruro. El poder amortiguador de la saliva retrasa el ritmo a que desciende el pH del contenido del estómago. Esta acción, unida a la estratificación de los alimentos ingeridos, determina marcadas diferencias de pH en las distintas regiones (aproximadamente 5.4 en la región fúndica y 2.6 en la región pilórica).<sup>67</sup>

En la región esofágica y fúndica del estómago se puede dar un proceso de fermentación, especialmente en la región denominada *saccus caecus*, que da lugar a la producción de ácido láctico. Conforme el alimento se acerca al píloro, en la parte distal del estómago, el pH gástrico desciende debido a la secreción de ácido clorhídrico que potencia la actividad proteolítica de la pepsina, que es de 15 a 20 veces mayor que en la región fúndica. Debido al pequeño tamaño del estómago y, por consiguiente, la breve permanencia del alimento en el mismo, la magnitud de la digestión proteica es insignificante.<sup>67, 68, 70, 71</sup>

#### 4.1.4. Intestino delgado

El intestino delgado tiene una longitud de unos 21 m, con una capacidad de 40 a 50 litros. Está integrado por el duodeno, yeyuno e ileon. A pesar de ello, los alimentos recorren el intestino delgado con gran rapidez, aproximadamente 45 minutos después de haber sido ingeridos, avanzando 30 centímetros en un minuto.<sup>70, 71</sup>

Como resultado de la presencia de alimento en el estómago, hay secreción de grandes cantidades de jugo pancreático, como respuesta a los estímulos provocados por fibras nerviosas vagales y por acción endócrina (hormonal). De hecho, aunque la secreción es continua, el ritmo aumenta de cuatro o cinco veces al iniciarse la ingestión

de alimentos. Esta secreción que llega al duodeno tiene escasa actividad enzimática, pero aporta grandes cantidades de líquidos e iones de sodio, potasio, cloruro y bicarbonato. No obstante, contiene cierta cantidad de tripsina activa.<sup>67</sup>

Los équidos carecen de vesícula biliar y la estimulación de la secreción de bilis y jugo pancreático se debe a la presencia del HCl gástrico en el duodeno. La secreción de ambos líquidos cesa tras un ayuno de 48 horas. La bilis es, al mismo tiempo, secreción y excreción digestiva. Como reservorio de álcali colabora en el mantenimiento de una reacción óptima en el intestino para el funcionamiento de las enzimas digestivas secretadas en ese lugar. En los équidos, el pH de los alimentos que abandonan el estómago se eleva rápidamente hasta poco más de 7.0.<sup>67,71</sup>

Una gran proporción de las fuentes energéticas consumidas por los équidos que trabajan está constituida por los almidones de los cereales. Estos almidones se componen de cadenas ramificadas, relativamente largas, formadas por moléculas de glucosa unidas por enlaces alfa-D-glucosa. La absorción hasta el torrente sanguíneo depende de la ruptura de los enlaces de las moléculas de glucosa, de lo cual son responsables las enzimas secretadas en el intestino delgado. Estas se disponen en las microvellosidades como alfa-amilasa (secretada por páncreas) y como alfa-glucosidasa (secretadas por mucosa intestinal).<sup>67,70</sup>

La cantidad de proteína hidrolizada en el intestino delgado supone unas tres veces la hidrolizada en el estómago. Las proteínas están en forma de largas cadenas plegadas, cuyos eslabones son los aminoácidos. Para que las proteínas sean digeridas y aprovechadas por los équidos, esos aminoácidos deben liberarse, aunque la mucosa intestinal puede absorber dipéptidos. Los detalles del proceso no se conocen bien, pero las enzimas responsables son aminopeptidasas y carboxipeptidasas secretadas por la pared del intestino delgado.<sup>67</sup>

Las grasas se digieren y se absorben en el intestino delgado antes de verse afectadas por la fermentación que ocurre en el intestino grueso.<sup>67</sup> La bilis, que drena continuamente del hígado, facilita el proceso al promover la emulsión de las grasas. La emulsión determina un aumento en la interfase grasa-agua, de modo que las lipasas pueden hidrolizar más fácilmente las grasas neutras hasta ácidos grasos y glicerol. Estos se absorben fácilmente haciendo posible que una gran parte de la grasa de la ración, en forma de triglicéridos finamente emulsionados, se absorban al el sistema linfático.<sup>67</sup>

El material que deja el intestino delgado se compone de restos fibrosos, almidón y proteína sin digerir, microorganismos, secreciones intestinales y descamaciones.<sup>67, 71</sup>

#### 4.1.5. Ciego

Una característica de los animales que pastan y ramonean es la dilatación de una parte del tracto gastrointestinal para permitir la fermentación de los alimentos por los microorganismos. Ningún mamífero doméstico secreta enzimas capaces de degradar las complejas moléculas de celulosa, hemicelulosa, peptina y lignina hasta componentes que pueden ser absorbidos, en tanto que las bacterias pueden realizarlo, con excepción de la lignina. El proceso es relativamente lento, en comparación con la digestión del almidón y la proteína. Ello significa que la velocidad de tránsito intestinal en estas secciones debe ser menor a la de secciones anteriores del tracto gastrointestinal, de manera que la digesta se exponga por un tiempo suficiente a la actividad microbiana y se logre así un proceso de fermentación que rinda una buena proporción de nutrientes para el animal.<sup>61, 66</sup> En el caballo, el tiempo estimado de retención de la digesta o tiempo de tránsito intestinal se reporta ser de entre 38 y 72 hrs.<sup>67</sup> En el caso de los burros esta velocidad de tránsito es menor, lo que los hace más eficientes en la digestión de forrajes de menor calidad.<sup>72, 73</sup>

La porción distal del íleon se conecta con el ciego. Esta sección del tracto gastrointestinal tiene una longitud aproximada de 1 m en équidos adultos, con una capacidad de 25-35 litros. En un extremo existen dos válvulas musculares, relativamente cercanas: la válvula ileocecal, a través de la cuales entra la digesta procedente del íleon, y la válvula cecocólica, por la cual sale la digesta del ciego hacia el colon.<sup>70, 71, 74</sup>

La digestión en el ciego depende casi totalmente de las bacterias y protozoarios ciliados, y es en esta sección donde se encuentra el mayor número de población bacteriana. Dentro de la fermentación en el ciego se sintetizan aminoácidos esenciales, y los microorganismos producen vitaminas hidrosolubles del grupo B y vitamina K.<sup>71, 75</sup>

La degradación microbiana de la fibra, almidón y proteína de la ración, produce grandes cantidades de ácidos grasos volátiles (AGV) como subproducto, principalmente los ácidos acético, propiónico y butírico. Estos ácidos podrían contaminar el medio, dando lugar rápidamente a un entorno inadecuado para la multiplicación microbiana; no obstante, el medio se mantiene uniforme por la absorción de AGV y la secreción de bicarbonato y fosfato lo que amortiguan el pH del medio, elementos que llegan al intestino grueso por la pared y procedentes del íleon. Además de la absorción de los productos de la digestión microbiana, en el colon se lleva a cabo la absorción de grandes cantidades de agua y electrolitos (sodio, potasio, cloruros y fosfatos). La cantidad de agua absorbida en el intestino grueso disminuye progresivamente desde el ciego al colon menor; el descenso en la absorción de agua se acompaña de un descenso en la absorción de sodio.<sup>67, 71, 75</sup>

La degradación microbiana parece tener lugar a un ritmo mucho más rápido en el ciego y colon ventral que en el colon dorsal, siendo también más rápida la tasa de degradación cuando se degradan almidones que cuando carbohidratos estructurales. Los

cambios en la proporción almidón:fibra en las raciones, determinan cambios en las proporciones de los productos de la fermentación, especialmente ácidos grasos volátiles; estas proporciones también difieren en las distintas partes del intestino grueso. Por tanto, se produce más cantidad de propionato como consecuencia del consumo de raciones ricas en almidones, produciéndose más cantidad en ciego y colon ventral que en colon dorsal.<sup>67, 71</sup>

La mayoría de las bacterias tienen capacidad para degradar la proteína de la ración, produciendo así otra mezcla de AGV's. En los équidos todos los AGV's se absorben rápidamente a la sangre. Por el contrario, el ácido láctico producido en el estómago parece no ser bien absorbido en el intestino delgado. Al llegar al intestino grueso (ciego y colon mayor), una parte se absorbe con el producido localmente, pero gran parte se metaboliza por las bacterias hasta propionato.<sup>67, 71</sup>

Aunque la fibra de la ración no se degrada tan fácilmente en los équidos como en los rumiantes, los équidos utilizan la energía de los carbohidratos solubles con más eficiencia, al absorber mayor cantidad de azúcares. Así mismo, los équidos tienen una ventaja sobre los rumiantes en cuanto a que mucha de la proteína de la dieta la pueden absorber en forma de aminoácidos, convirtiéndose menor cantidad en proteína microbiana. Solo una pequeña cantidad de aminoácidos presentes en la proteína microbiana son utilizables directamente por los équidos.<sup>71, 75</sup>

#### 4.1.6. Colon mayor

Las partes derecha e izquierda del colon ventral y los segmentos derecho e izquierdo del colon dorsal, constituyen el colon mayor, que tiene de 3 a 4 m de longitud en el caballo adulto, y una capacidad de más del doble que la del ciego. Las 4 partes del colon mayor se conectan mediante pliegues. Por orden son los pliegues esternal, pélvico

y diafragmático. La importancia radica, seguramente, en los cambios funcionales y en la población microbiana en las diferentes regiones y en actuar como zonas de obstrucción intestinal. La digestión en el ciego y colon ventral dependen, casi totalmente, de la actividad de las bacterias y protozoos ciliados que contienen.<sup>70, 74,</sup>

El diámetro del colon mayor varía considerablemente de región a región, alcanzando un máximo en el colon dorsal derecho que forma un gran saco. Esta estructura continúa en una porción en forma de embudo, pasando ventral al riñón izquierdo, reduciendo su calibre conforme se aproxima al colon menor.<sup>70, 74</sup>

En cuanto a la fermentación, degradación y absorción, se puede decir que la parte ventral de colon mayor se da igual a como ocurre en el ciego, tanto en los procesos como en la población de microorganismos contenida en este.<sup>71, 75</sup>

#### 4.1.7. Colon menor

El colon menor se prolonga dorsalmente a la cavidad abdominal unos 3-4 m antes desde el colon mayor hasta el recto. Ahí ocurren procesos como la reabsorción del agua y es donde las heces adquieren su forma peculiar de pequeñas bolas. Las heces son el desperdicio de la digesta y contienen agua, residuos de alimento no digerible, descamación de las paredes celulares y residuos de las secreciones de la digesta.<sup>74</sup>

#### 4.1.8. Recto

El recto tiene una longitud de unos 300 mm y termina en el ano. La actividad microbiana da lugar, inevitablemente, a la producción de gases principalmente metano, dióxido de carbono e hidrógeno, que pueden absorberse, eliminarse por el ano o metabolizarse. No obstante, los gases pueden convertirse en un problema de grandes

consecuencias si la tasa de producción supera a la tasa de absorción o eliminación.<sup>70, 71,</sup>

## 4.2. Conceptos nutricionales y su aplicación en équidos

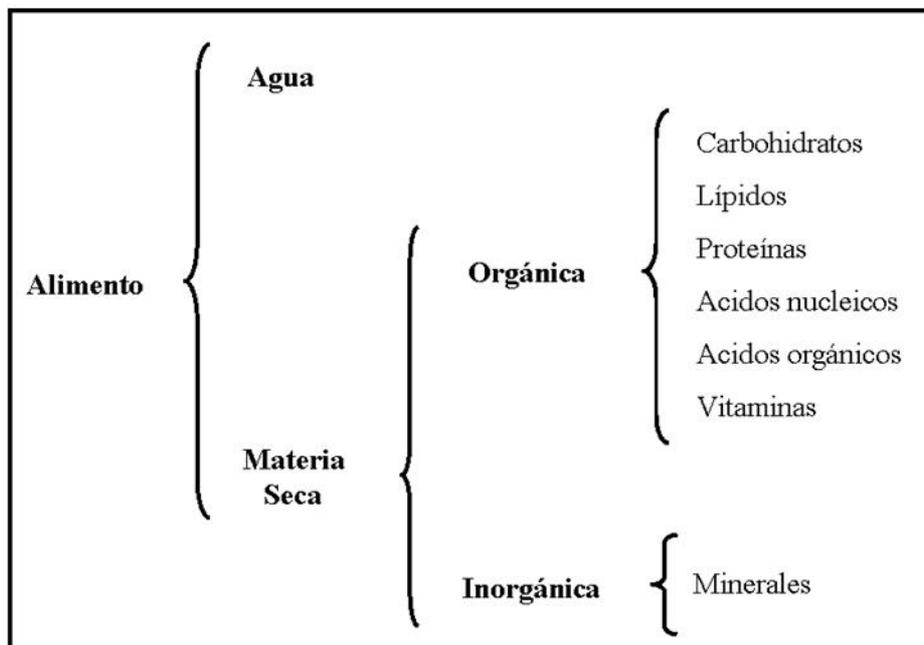
### 4.2.1. Alimento

El término alimento se utiliza para describir, de manera general, los compuestos de naturaleza orgánica e inorgánica que, al ser incluidos en la dieta, aportan los nutrientes necesarios a un organismo vivo para mantener el funcionamiento de sus tejidos.<sup>71,75</sup>

### 4.2.2. Fracciones del alimento

Todos los alimentos están integrados por distintas moléculas, que pueden ser o no nutritivas. Los nutrientes son moléculas de naturaleza variada que se encuentran en mayor o menor proporción dependiendo del tipo de alimento, estando asociados con otras moléculas que en ocasiones solo cumplen una función estructural.<sup>71,75</sup>

De manera general, todo alimento puede estudiarse dividiéndolo en las fracciones que se muestran en la Figura 1.



**Figura 1. Fracciones del alimento** Fuente: McDonald 2002<sup>11</sup>

a. Agua

El agua es el elemento más abundante en la naturaleza. Todos los seres vivos tienen en su estructura cierta cantidad y requieren de este elemento para mantenerse vivos.<sup>11, 71</sup>

Los alimentos contienen agua en diferentes proporciones dependiendo su tipo y el método de procesamiento a que ha sido sometido. Ciertas especies vegetales concentran más agua que otras; por ejemplo, los granos contienen menor proporción de agua que los forrajes y estos, a su vez, contienen diferentes proporciones de agua dependiendo de su tipo, estado fenológico, edad y método de cosecha o procesamiento.

71

#### b. Materia seca

La materia seca es lo que ha quedado del alimento una vez que se ha extraído por completo el agua. El contenido de materia seca varía entre un alimento y otro dependiendo de su naturaleza, estado fenológico y método de cosecha. La Tabla 1 ilustra, de manera general, las variaciones en contenido de materia seca entre cuatro diferentes grupos de alimentos utilizados en raciones de equinos.

**Tabla 1. Contenido de materia seca en diferentes alimentos.**

	<b>Materia seca*</b>
Forrajes frescos	<b>30 %</b>
Forrajes henificados	<b>85%</b>
Pajas y rastrojos	<b>90%</b>
Granos y concentrados	<b>88 %</b>

Fuente: McDonald, 2002;<sup>11</sup> Sauvant, 2004;<sup>76</sup>; NRC, 1989.<sup>77</sup>

La materia seca está integrada por moléculas que cumplen, o no, funciones alimenticias pero que en general se concentran en dos fracciones: la materia inorgánica y la orgánica.<sup>11</sup>

#### ***Materia inorgánica (minerales)***

La materia inorgánica corresponde a las fracciones del alimento cuya estructura molecular no incluye carbono, oxígeno, hidrogeno o nitrógeno. Esta fracción suele referirse como cenizas y su importancia nutricional radica en que en ella se encuentra la porción mineral del alimento.

La Tabla 2, muestra el porcentaje de cenizas o materia inorgánica de algunos de los ingredientes comúnmente utilizados en dietas de équidos.

**Tabla 2. Contenido de cenizas de algunos alimentos para équidos.**

Plantas verdes	Cenizas (%)
Maíz	6.4
Alfalfa	8.4
Vegetales secos	
Heno de alfalfa	8.2
Grano de maíz	2.3
Rastrojo de maíz	4.2

Fuente: McDonald, 2002<sup>11</sup>; Kohnke, 1989;<sup>71</sup> ,Sauvant, 2004<sup>76</sup>; NRC, 1989;<sup>77</sup> Bandala, 1988.<sup>78</sup>

La concentración de los diferentes minerales en los alimentos depende de factores como tipo y fracción de la planta, así como del suelo y condiciones de la zona en la cual se produce.<sup>71, 75</sup> A diferencia de los pastos, las leguminosas tienden a ser ricas tanto en macroelementos como en elementos traza; lo que sucede también en el caso de las semillas de leguminosas comparadas con las semillas de cereales.<sup>11</sup>

Los minerales están involucrados en eventos fisiológicos, estructurales y bioquímicos vitales (Tablas 3 y 4). Todo animal tiene un requerimiento mínimo de cada uno de los 7 macroelementos y de los muchos microelementos esenciales, también llamados minerales traza por requerirse en muy pequeñas cantidades.

**Tabla 3. Principales implicaciones de macrominerales en el organismo.**

Elemento	Implicaciones
<b>Ca</b>	Componente de huesos y dientes; transmisión de impulsos nerviosos.
<b>P</b>	Componente de huesos y dientes; metabolismo energético.

<b>K</b>	Osmorregulación, balance ácido-básico, excitación nerviosa y muscular.
<b>Na</b>	Balance ácido-básico, osmorregulación.
<b>Cl</b>	Balance ácido-básico, osmorregulación, secreciones gástricas.
<b>S</b>	Estructura de los aminoácidos, vitaminas y hormonas.
<b>Mg</b>	Componente de huesos, activador de enzimas para carbohidratos y metabolismo lipídico,

Fuente: McDonald, 2002;<sup>11</sup> , Kohnke 1989; <sup>71</sup> Underwood, 1999. <sup>79</sup>

**Tabla 4. Principales implicaciones algunos microminerales en el organismo.**

<b>Elemento</b>	<b>Implicaciones</b>
<b>Fe</b>	Oxidación aeróbica de los carbohidratos, transferencia de electrones.
<b>Cu</b>	Síntesis de hemoglobina, sistemas enzimáticos y pigmentos.
<b>Co</b>	Componente de la cianocobalamina.
<b>I</b>	Hormonas tiroideas.
<b>Mn</b>	Activación enzimática, metabolismo del piruvato, antioxidante
<b>Mb</b>	Metabolismo de las purinas.
<b>Zn</b>	Formación de CO <sub>2</sub> , metabolismo del alcohol, digestión de proteína, hidrólisis de los esteres fosfato.
<b>Se</b>	Remoción de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> e hidroperóxidos, activación de tiroxina, metabolismo del yodo, funciones inmunológicas.

Fuente: McDonald, 2002;<sup>11</sup> , Kohnke 1989; <sup>71</sup> Underwood, 1999. <sup>79</sup>

A menudo, los minerales son considerados como entidades nutricionales por separado. Esto en términos fisiológicos es un error pues deben ser tomados en cuenta de manera conjunta, debido principalmente a que las células requieren de un balance entre los diferentes elementos para un funcionamiento correcto, sobre todo con respecto a los elementos conocidos como electrolitos. <sup>11, 79</sup>

En équidos, los electrolitos sodio, potasio y cloro son particularmente importantes ya que juegan un papel esencial en el mantenimiento del equilibrio iónico y por tanto el equilibrio ácido-base de los compartimientos líquidos del organismo. <sup>79</sup>

Los équidos sufren trastornos fisiológicos considerables ante alteraciones en el balance electrolítico. Las fallas para mantener el adecuado balance electrolítico pueden llevar a una ineficiencia de las rutas metabólicas. El balance de ácidos y

bases influye en funciones tales como: tasa de crecimiento, apetito, metabolismo energético y proteico, utilización de calcio, metabolismo de vitaminas, absorción intestinal y función renal.<sup>80</sup>

La dieta contribuye de manera importante en el mantenimiento del balance electrolítico intracelular debido a su contenido de aniones y cationes metabolizables.

<sup>11</sup> Esta relación se basa en los mecanismos de absorción digestiva y los intercambios iónicos entre los compartimentos digestivos y sanguíneos. La absorción de cationes se hace “en contra” de los iones  $H^+$  y tiene, por tanto, un efecto alcalinizante a nivel sanguíneo, mientras que la absorción de aniones tiene un efecto acidificante debido a la salida de iones bicarbonato del compartimiento sanguíneo.<sup>80</sup>

El balance electrolítico de los alimentos se puede hacer a través de un simple cálculo en el que se hace intervenir los iones implicados en la regulación del equilibrio ácido-base: potasio y sodio, considerados alcalinogénicos, y cloro, considerado acidogénico.<sup>76</sup> De manera que los aportes de electrolitos en las raciones de equinos deben ser formulados no solo en función de las necesidades, que dependen del estado fisiológico, sino también teniendo en cuenta el balance electrolítico.

Por tanto, además de servir para cubrir deficiencias específicas, conocer la concentración y proporciones de los diferentes minerales en los alimentos para équidos, tiene valor al querer corregir desbalances que lleven a problemas de salud, desempeño o productividad del animal.<sup>71</sup> Un aspecto a considerar es que la concentración mineral en un alimento no refleja las cantidades de cada elemento que finalmente serán absorbidas. La absorción de los minerales en los équidos está influenciada por factores tales como: naturaleza del alimento (el yodo en combinación orgánica se absorbe menos eficientemente que el que está en forma

inorgánica), forma química del elemento (ácido fítico), mecanismo de absorción de cada elemento (proceso mediado por transportador como en el Zinc), pH intestinal (ácido favorece absorción de Ca), interacciones entre minerales (exceso de Ca inhibe absorción de Zn) o los requerimientos mismos del animal (ante un incremento en la necesidad de hierro la absorción será mayor).<sup>11, 71, 81</sup>

### ***Materia orgánica***

La materia orgánica agrupa a los compuestos que incluyen moléculas de carbono en su estructura. De acuerdo con esto, la materia orgánica es la fracción del alimento que aporta carbohidratos, grasas, proteínas, ácidos orgánicos, ácidos nucleicos y vitaminas;<sup>11, 82</sup> cuya digestibilidad determinará que el animal extraiga sustratos en cantidad y calidad suficientes para cubrir sus requerimientos.

**Tabla 5. Carbohidratos comunes en alimentos.**

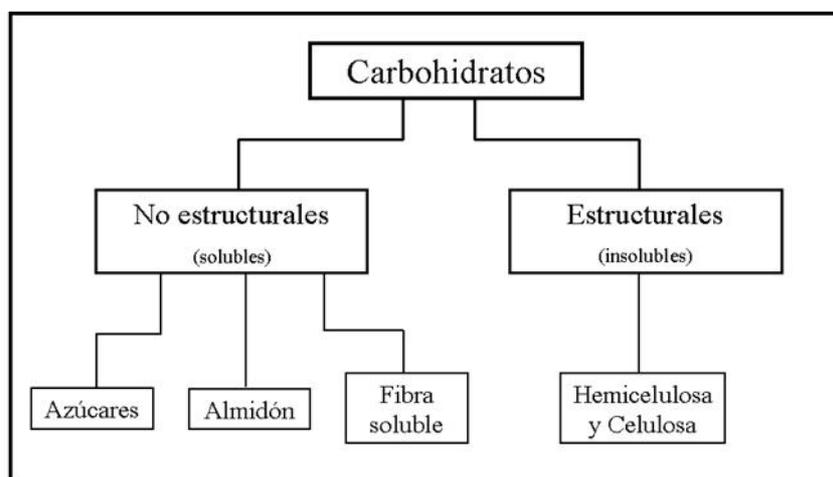
Monosacáridos	Glucosa	
	Fructosa	
Disacáridos	Sucrosa	
Oligosacáridos	Fructanos	
Polisacáridos	Almidones	Amilasa Amilopectina
	No almidones	Celulosa Hemicelulosa Pectinas B-glucanos Fructanos

Fuente: Modificado de Asp, 1995.<sup>83</sup>

### ***Carbohidratos***

De todos los componentes de la materia orgánica, los carbohidratos son las moléculas más abundantes. Para su estudio bioquímico, los carbohidratos se dividen en

monosacáridos, disacáridos y polisacáridos (Tabla 5). Sin embargo desde el punto de vista nutricional, y para fines de análisis de los alimentos, la división que se hace de los carbohidratos es en estructurales y no estructurales (Figura 2).<sup>81</sup>



**Figura 2. Clasificación de los carbohidratos** Fuente: Van der Veen.<sup>82</sup>

La mayoría de los carbohidratos no estructurales son solubles, lo que significa que pueden ser perfectamente digeridos por enzimas producidas por células de mamíferos. Por el contrario, los carbohidratos estructurales son resistentes a la actividad de tales enzimas y su degradación se consigue por actividad microbiana.<sup>71,</sup>

75

De lo anterior se desprende que, en general, conforme aumenta la complejidad de los carbohidratos, la digestibilidad del alimento disminuye de manera proporcional. Un aspecto especialmente importante en los équidos porque, aunque estos consuman los mismos alimentos que los rumiantes, el valor nutricional de cada ingrediente variará no solamente por las características físico-químicas del alimento, sino también por las particularidades anatómico-fisiológicas del tracto digestivo del animal.<sup>61</sup>

*Carbohidratos no estructurales*

Los carbohidratos no estructurales incluyen a los azúcares y al almidón que, como ya se ha mencionado, se caracterizan por ser solubles en agua. En el análisis de los alimentos, la fracción conformada por los carbohidratos no estructurales suele referirse como el extracto libre de nitrógeno (ELN).<sup>11</sup>

Los carbohidratos presentes en el alimento como azúcares simples son los que en algún momento fueron componentes activos del metabolismo vegetal, por lo que su concentración está sujeta a factores como fracción de la planta (grano, hoja o tallo), así como a su edad y estado fisiológico al momento de la cosecha y el método de procesamiento o conservación del alimento.<sup>11,71</sup>

Los monosacáridos, glucosa y fructosa, y los disacáridos, sucrosa y maltosa, contribuyen para la mayor parte del contenido de azúcares solubles en los forrajes.<sup>84</sup> El almidón es el principal polisacárido no estructural, pero hay otros polisacáridos que integran la fracción no fibrosa del forraje entre los que se incluyen a los fructanos, galactanos, pectinas y  $\beta$ -glucanos.<sup>85</sup>

Indiscutiblemente, la importancia nutricional de los carbohidratos no estructurales es su contribución a cubrir las necesidades totales de energía del animal. Sin embargo, la mayor importancia de esta fracción del alimento es que aporta el total de moléculas de glucosa con posibilidades de ser absorbidas como tal y entonces ser utilizadas por el animal para cubrir requerimientos específicos como es el caso de órganos vitales como encéfalo y corazón, cuyo metabolismo utiliza a la glucosa como sustrato principal para la producción de energía.<sup>67</sup> Así mismo, el aporte de glucosa por la dieta al organismo es especialmente importante en équidos pues asegura disponibilidad de esta molécula para restituir reservas corporales de glucógeno hepático y muscular; el primero vital para amortiguar fluctuaciones drásticas en el nivel de glucosa sanguínea, y el segundo indispensable para asegurar

reservas de combustible requerido en el momento que se de un incremento en la actividad muscular.<sup>67</sup>

Los disacáridos y polisacáridos no estructurales deben ser degradados a azúcares simples para ser absorbidos y utilizados por el organismo;<sup>84</sup> de hecho, el almidón es el único polisacárido vegetal que puede ser digerido por enzimas digestivas propias de los mamíferos.<sup>83</sup> Por tanto, y considerando las características anatómicas y fisiológicas del sistema digestivo de los équidos, es posible sugerir que ante cualquier aumento en el contenido de carbohidratos solubles, mayor será el valor nutritivo del alimento.

#### *Carbohidratos estructurales*

Se trata de moléculas de carbohidratos formando cadenas complejas con enlaces más resistentes al fraccionamiento por actividad enzimática. Los principales polisacáridos estructurales en la naturaleza, y que ocupan un lugar primordial en la alimentación de herbívoros, son la celulosa y la hemicelulosa.<sup>86</sup>

La celulosa es un polímero de glucosas con enlaces  $\beta$  1-4, insoluble en agua e indigestible por las enzimas de los mamíferos que para ser utilizada como fuente de nutrientes requiere modificarse para adquirir formas solubles en agua.<sup>86</sup> La hemicelulosa por su parte, es un heteropolímero que varía considerablemente en composición primaria, aunque generalmente está formada por glucosa y otras moléculas como manosa y xilosa.<sup>87</sup>

Los polisacáridos estructurales constituyen la fracción fibrosa de los alimentos y en los forrajes se encuentra en una proporción característicamente mayor. Por su importancia nutricional en herbívoros, la fibra conviene ser estudiada por separado.<sup>86</sup>

## *Fibra*

La fibra incluye a los polisacáridos estructurales presentes en los alimentos. No obstante, el concepto de fibra que se usa en nutrición de herbívoros, es el que considera al complejo de nutrientes relativamente resistentes a la digestión y que suele ser lenta y parcialmente degradado durante su estancia en el tracto digestivo.<sup>88</sup>

La mayoría de los alimentos de origen vegetal, excepto los aceites, contienen fibra. El contenido de fibra cambia dependiendo de la fracción del vegetal, siendo entonces mayor en los tallos, menor en las hojas y aun menor en las semillas.<sup>71</sup> Por tanto, puesto que la fracción fibrosa en los granos es prácticamente ignorable, la fibra es una fracción de los alimentos que merece mayor atención en los forrajes.<sup>88</sup>

Las variaciones en las proporciones de la fracción fibrosa de los forrajes dependerán de la cantidad de hemicelulosa, celulosa y lignina presentes, cuya concentración, a su vez, varía de acuerdo con el tipo de planta, fracción vegetal en cuestión, edad y estado fenológico al momento de la cosecha, así como método de procesamiento y conservación del forraje.<sup>85</sup>

La celulosa es el polímero mas abundante de las plantas, formando la estructura fundamental de sus paredes celulares. En las paredes celulares de las plantas, la celulosa está física, química y fisiológicamente asociada con otros compuestos, especialmente con la hemicelulosa y lignina. La lignina no es un hidrato de carbono; sin embargo, se asocia con este grupo de moléculas para cumplir funciones importantes desde el punto de vista químico y biológico, al conferir resistencia a la pared celular, y desde el punto mecánico, al proveer de estructura y soporte a la planta.<sup>11</sup>

La importancia de la fibra en la nutrición de équidos, es que en condiciones naturales la dieta de estas se basa en alimentos que en su estructura incluyen proporciones considerables de fibra, como son los pastos y follajes de arbustos.<sup>2,7,10</sup>

Además, en condiciones de domesticación o confinamiento, los équidos son alimentados con forrajes que suelen ser rastrojos, pajas o henos cuya proporción de fibra es muy alta. De hecho, el forraje en las raciones de equinos suele representar del 50 al 100 % del total de materia seca ofrecida en un día; lo que refleja la fuerte implicación de la fibra para cubrir los requerimientos nutricionales de estos animales.<sup>89,90</sup>

En equinos la fibra cumple numerosas funciones, entre las que se incluyen:

- 1.- Facilitar y controlar la fermentación para la producción de ácidos grasos volátiles, la síntesis de vitaminas del complejo B y la generación de calor para termo-regular.
- 2.- Asegurar reservas de fluidos en el intestino que puedan ser absorbidas en un caballo deshidratado debido a las pérdidas de por sudor, respiración y orina.
- 3.- Abrir la masa digestiva y retener agua para la disolución de nutrientes de los alimentos.<sup>71,75,89,90</sup>

Como ya se ha mencionado, la fibra incluye los compuestos celulosa, hemicelulosa y lignina. La particularidad nutricional de la celulosa es que ningún organismo multicelular conocido es capaz de producir enzimas que la degraden; por tanto, el animal que la consume, no solo se ve privado del valor nutritivo de la celulosa, sino también de los contenidos celulares digestibles unidos a la pared celular.<sup>61</sup> Es gracias a la población microbiana que albergan en el ciego-colon, que los équidos pueden aprovechar los beneficios nutricionales de la celulosa y de las partículas nutritivas que se encuentran adheridas a ella.<sup>71,75</sup>

A diferencia de la celulosa, la lignina posee una alta resistencia a la degradación microbiana. Por tal motivo, la lignina representa una limitante desde el punto de vista nutricional. Las pajas, rastrojos y henos provenientes de pasturas maduras contienen altas proporciones de fibra lignificada, lo que limita su digestibilidad.<sup>11</sup>

Esto es particularmente importante en equinos en tanto que la digestión de estos herbívoros se da en el siguiente orden: mecánica, química y microbiana, lo que significa que conforme aumente la proporción de fibra lignificada en el forraje, menor será la proporción de alimento digerido antes del ciego, por lo que estará comprometida la absorción de nutrientes solubles unidos a fibra y no estarán disponibles a la digestión hasta que la actividad microbiana los libere.<sup>71, 75</sup>

Anteriormente se trataba a la fibra como una sola entidad (fibra cruda) sin otorgarle un valor importante. Actualmente, se cuenta con un sistema que considera a la fibra una entidad nutricional que se define tanto por sus propiedades biológicas como por su composición química;<sup>85</sup> considerando a los polisacáridos celulosa y hemicelulosa, junto con el compuesto lignina, como los principales constituyentes de la fibra.<sup>84</sup>

Con este sistema, la división de la fibra se hace en dos unidades: Fibra Detergente Neutro (FDN) y Fibra Detergente Acido (FDA). Conceptos que describen los polisacáridos del forraje con baja solubilidad en solventes específicos y relativamente menos digestibles que el almidón.<sup>91</sup>

*Fibra Detergente Neutro*

El contenido de fibra detergente neutro (FDN) se estima al tratar el forraje con una solución detergente neutra que disuelve los contenidos celulares. El contenido de FDN es el residuo y representa la concentración de celulosa, hemicelulosa y lignina de la muestra.<sup>88</sup> Los componentes de la FDN son resistentes a la hidrólisis por enzimas, pero pueden ser fermentadas por actividad microbiana en el ciego-colon de los équidos; además, el valor de esta fracción, puede ser utilizado como un indicador de la capacidad del alimento para ocupar espacio, pudiendo entonces utilizarse como indicador del potencial de consumo.<sup>85</sup>

#### *Fibra Detergente Ácido (FDA)*

Después de obtener la fracción FDN, la muestra de forraje se trata con ácido sulfúrico, dando como resultado la solubilización de la hemicelulosa. El residuo es denominado fibra detergente ácido (FDA) y contiene las fracciones de celulosa, lignocelulosa y lignina del forraje. Esta fracción de la fibra es menos digestible que FDN.<sup>82,</sup><sup>92</sup> Por esto, y debido a la relación conocida entre digestibilidad y energía disponible, el porcentaje de FDA a menudo se utiliza para predecir el rendimiento de energía digestible de un forraje: a menor proporción de FDA, mayor el potencial energético del alimento.<sup>92</sup>

Al igual que para FDN, la concentración de FDA va a depender principalmente del estado físico de la planta y de aspectos como edad, estado fenológico, método de cosecha y método de conservación.<sup>11, 85</sup>

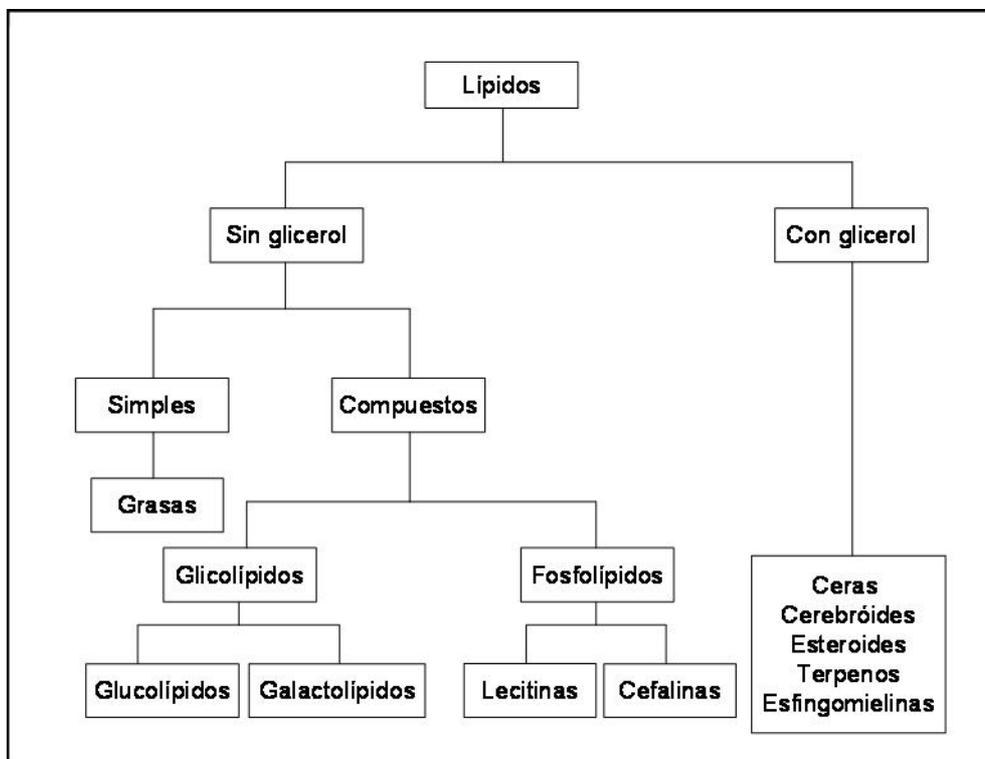
#### *Fibra Detergente Neutro Soluble (FDNS)*

Esta no es un componente de FDA, ni de FDN. El concepto de FDNS es relativamente nuevo y surgió para designar una fracción de la fibra que es

rápida­mente fermentada en el cie­go-colon de los équi­dos sin resul­tar en una pro­duc­ción ex­ce­si­va de áci­do, como su­cede en la fer­men­ta­ción de car­bo­hidra­tos no es­truc­tu­ra­les. Los ali­men­tos con un buen con­te­ni­do de FDNS como la pul­pa de re­molacha y el sal­va­do, sue­len ser in­cor­po­ra­dos en las ra­cio­nes de equi­nos para com­pen­sar por for­ra­jes de ba­ja ca­li­dad, man­tenien­do un am­bien­te de fer­men­ta­ción sa­lu­da­ble.<sup>82,93</sup>

### ***Lípidos***

Los lípidos son sustancias que se encuentran en los tejidos de plantas y animales. Este grupo comprende grasas, aceites y sustancias afines (fosfolípidos, esfingolípidos, glicolípidos, esteroides y ceras), cuya característica principal es su insolubilidad en agua; siendo solubles solamente en sustancias orgánicas como éter, cloroformo y xileno.<sup>11</sup>



**Figura 3. Clasificación de los lípidos.** Fuente: McDonald, 2002<sup>11</sup>

Desde el punto de vista bioquímico, los lípidos se clasifican en simples, compuestos y derivados (Figura 3). Las grasas son comúnmente referidas como triglicéridos, que son compuestos integrados por una molécula de glicerol y tres moléculas de ácidos grasos de cadena larga.<sup>11,94</sup>

De acuerdo con su estructura, los ácidos grasos se clasifican en saturados e insaturados (Tabla 6). Los ácidos grasos saturados no contienen doble ligadura en su estructura y teóricamente se pueden considerar como provenientes del ácido acético. Dentro de este grupo se encuentran algunos ácidos grasos producto de la fermentación como el acético, propiónico y butírico.

**Tabla 6. Principales ácidos grasos de importancia fisiológica y nutricional.**

<b>Saturados</b>	<b>Insaturados*</b>	
Fórmico	Monoinsaturados	Palmitoleico
Acético		Oleico
Propiónico	Polinsaturados	Linoleico (2)
Butírico		Gamma-linolénico (3)
Valérico		Alfa-linolénico (3)
Caproico		Araquidónico (4)
Caprílico	Eicosanides	Prostaglandinas
Capricho		Prostanoides
Láurico		Prostaciclina
Mirístico		Tromboxanos
Palmítico		Leucotrienos
Esteárico		
Araquídónico		

\* Entre paréntesis se indica el número de dobles ligaduras  
 Fuente: Murray et al. 1997 (Bioquímica de Harper)<sup>94</sup>

Los ácidos grasos insaturados, por su parte, son los que presentan dobles ligaduras en su estructura. De acuerdo a la cantidad de dobles ligaduras que presentan, o grado de insaturación, los ácidos grasos insaturados se dividen en:

- a) Monoinsaturados (que contienen una doble ligadura)
- b) Poliinsaturados (que contienen dos a más dobles ligaduras)
- c) Eicosanoides (derivados de los ácidos grasos eicosapoliénicos “20-C”).

Respecto a los ácidos grasos que integran un triglicérido, se sabe que conforme aumenta la cantidad de dobles ligaduras entre sus átomos (mayor insaturación) y menor es el número de átomos de carbono en su estructura (cadena más corta), menor es el punto de fusión de ese triglicérido.<sup>95</sup>

Los ácidos grasos saturados tienen un punto de fusión mayor a los insaturados, aún teniendo el mismo número de átomos de carbono. Todos los triglicéridos de los ácidos grasos son grasas, pero aquellos que se mantienen en estado líquido en temperaturas inferiores a los 20° C son referidos como aceites.<sup>96</sup>

Entre los ácidos grasos integrando grasas y aceites naturales se encuentran los ácidos grasos saturados: caprílico, cáprico, láurico, mirístico, palmítico y esteárico; y los ácidos grasos insaturados: palmitoleico, oleico, linoleico,  $\alpha$ -linolénico y araquidónico.<sup>11</sup>

En el análisis químico proximal, la fracción grasa del alimento se expresa como extracto etéreo y este refleja el contenido general de lípidos en el alimento. Para conocer la concentración de un lípido en particular, es necesario un análisis específico. Se han aislado alrededor de 300 diferentes ácidos grasos de los tejidos vegetales, pero solo siete se hallan de manera más frecuente. El más abundante es el ácido  $\alpha$ -linolénico; siendo más comunes el palmítico, de los saturados, y el oleico, de los insaturados.<sup>11</sup>

En las plantas, existen dos tipos de lípidos: estructurales y de reserva. Los lípidos estructurales se encuentran como constituyentes de varias membranas y capas protectoras de superficie, y cubren alrededor del siete por ciento de las hojas de plantas mayores. Los lípidos de superficie son principalmente ceras, con contribuciones relativamente menores de hidrocarburos de cadena larga, ácidos grasos y cutina. Los lípidos de membrana, presentes en las mitocondrias, el retículo

endoplásmico y membrana plasmática, son principalmente glicolípidos y fosfoglicéridos. Los lípidos de reserva de las plantas se encuentran en frutos y semillas en forma de triglicéridos.<sup>11</sup>

En los granos de cereales las concentraciones de ácidos grasos varían dependiendo del tipo de cereal, siendo el linoleico, oleico y palmítico los más abundantes.<sup>11, 71</sup> La mayor fuente de lípidos para la alimentación de équidos son los aceites vegetales, semillas de oleaginosas y raramente grasas de origen animal. La calidad de estos alimentos depende de la cantidad de ácidos grasos.<sup>71</sup>

En la dieta de équidos de trabajo raramente se emplean estos complementos, acaso el aceite de maíz y de canola son los más comunes, pues los granos son en sí una fuente de ácidos grasos.<sup>71</sup>

Entre las funciones de los lípidos están las de actuar como transportadores de electrones, ser componentes de membranas biológicas, participar como sustratos en reacciones enzimáticas y funcionar como recurso o reserva de energía.<sup>94</sup> Además, las grasas y aceites son necesarios en las dietas de los équidos porque facilitan la absorción de vitaminas liposolubles (A, D, E y K) y porque representan un recurso de ácido linoleico, esencial en la dieta de todo animal.<sup>95</sup>

La dieta de los caballos debe incluir al menos una pequeña cantidad de ácido linoleico. El caballo puede sintetizar en cantidades suficientes el resto de los ácidos grasos que le son necesarios, incluso el linolénico y el araquidónico, que suelen considerarse esenciales.<sup>71, 95</sup>

Los ácidos grasos esenciales son referidos como aquellos que el cuerpo del animal no puede sintetizar y, por tanto, tiene que extraer del alimento.<sup>75</sup> Entre los ácidos grasos esenciales, el ácido linoleico es el principal, aunque el ácido araquidónico y el linolénico son parcialmente efectivos en el reemplazo del primero.

Por su parte, el ácido araquidónico puede ser sintetizado por el animal a partir del ácido linoleico.<sup>75</sup>

En el proceso digestivo, los lípidos son emulsificados y sufren una digestión enzimática por parte de las lipasas contenidas en el jugo pancreático y la bilis secretados hacia el intestino delgado. Posteriormente, los lípidos son absorbidos por las microvellosidades intestinales.<sup>71</sup>

Casi todos los ácidos grasos de más de 10 átomos de carbono, sin considerar la forma en que se absorben, se encuentran en la linfa del conducto torácico como ácidos grasos esterificados. Los ácidos grasos con cadenas de menos de 10 a 12 carbonos son transportados por la sangre venosa del sistema porta como ácidos grasos libres.<sup>94</sup>

Los lípidos ingeridos se utilizan principalmente como fuente de energía, aunque si la dieta contiene una cantidad adecuada de carbohidratos y proteínas disponibles, las grasas no son necesarias como recurso de energía. En ciertas condiciones, los lípidos en la dieta de los équidos constituyen una importante fuente alterna de energía pues aportan hasta 2.5 veces más energía que el peso equivalente de carbohidratos o proteínas, sin que por ello sea mayor el incremento calórico durante el trabajo.<sup>71,95</sup> Las grasas pueden ser utilizadas durante ejercicio prolongado, desdoblándose en ácidos grasos libres que son metabolizados aeróbicamente para el gasto de energía en el trabajo muscular. Las grasas no pueden ser convertidas en glucosa, ni ser utilizadas en condiciones de anaerobiosis como durante el ejercicio intenso.<sup>71</sup>

### ***Proteínas***

Las proteínas son moléculas complejas de elevado peso molecular que, al igual que los carbohidratos y lípidos, contienen carbono, hidrógeno y oxígeno en su estructura. Sin embargo, lo que caracteriza a las proteínas es la presencia de nitrógeno dentro de su estructura; además de otros elementos como azufre, fósforo y hierro.<sup>11, 95</sup>

La unidad estructural de las proteínas son los aminoácidos; moléculas que se unen por medio de enlaces peptídicos que se dan a nivel del grupo amino (NH<sub>2</sub>) de uno y el grupo carboxilo (COOH) de otro, formando un compuesto llamado polipéptido.<sup>94</sup>

Una forma de clasificar a las proteínas es en simples y conjugadas (Tabla 7). Las proteínas simples se dividen en:<sup>11, 96</sup>

- 1) proteínas fibrosas, que son proteínas animales insolubles como los colágenos, la elastina y la queratina.
- 2) proteínas globulares, agrupando a las enzimas, los antígenos y las hormonas de naturaleza proteica.

**Tabla 7. Clasificación de las proteínas.**

Simples	Fibrosas	Colágenos Elastina Queratina
	Globulares	Enzimas Antígenos Hormonas de naturaleza proteica
Conjugadas	Glucoproteínas Lipoproteínas Nucleoproteínas Cromoproteínas Metaloproteínas Fosfoproteínas	

Fuente: McDonald, 2002;<sup>11</sup> Church, 1994.<sup>96</sup>

Las proteínas conjugadas consisten en proteínas simples combinadas con un compuesto no nitrogenado o grupo prostético, e incluyen a las glucoproteínas, lipoproteínas, nucleoproteínas, cromoproteínas, metaloproteínas y fosfoproteínas.<sup>11</sup>

La mayoría de las proteínas contienen entre catorce y dieciocho por ciento de nitrógeno en su estructura.<sup>95</sup> Por ello, en el análisis de laboratorio, la aproximación que se utiliza para estimar el contenido de proteína de un alimento es el porcentaje de proteína cruda (PC) de la materia seca, derivado de la siguiente ecuación:

$$PC = 6.25 \times \% \text{ de N en el alimento.}$$

Basando tal simplificación en tres suposiciones:

- i) que todo el nitrógeno del alimento está presente como proteína
- ii) que toda la proteína contiene 16 % de nitrógeno
- iii) que toda la proteína tiene el mismo valor nutritivo<sup>55</sup>

Al analizar una muestra se supone que todo el nitrógeno contenido esta en forma de proteína; lo cual no es totalmente cierto, pues existen muchos compuestos nitrogenados como amidas, aminoácidos, glucósidos, alcaloides, compuestos amoniacales y compuestos lipídicos, que suelen referirse con el nombre común de compuestos nitrogenados no proteicos.<sup>11,55</sup>

En los vegetales utilizados para nutrición de animales, el nitrógeno está presente en forma de proteína verdadera o como nitrógeno no proteico.<sup>97</sup> Siempre que sea necesario determinar la proteína verdadera, se le puede separar de los compuestos nitrogenados no proteicos precipitando la muestra con hidróxido cúprico o, en el caso de algunos compuestos vegetales, coagulando por medio de calor.<sup>11</sup>

La concentración de proteína y compuestos nitrogenados en los alimentos empleados para équidos varía en función de su naturaleza y condiciones de crecimiento, cosecha y almacenaje (Tabla 8).

Todos los alimentos ofrecidos a los équidos contienen una mayor o menor proporción de proteína, a excepción de aquellos ingredientes de naturaleza netamente lipídica. En general, los niveles de proteína son variables y están sujetos a variaciones en las condiciones de crecimiento de las plantas. Los forrajes y los granos comúnmente contienen niveles menores al 12% de proteína cruda (PC); por el contrario, las semillas de oleaginosas están en un promedio mayor a 12% de PC.

71

**Tabla 8. Porcentajes promedio de proteína cruda en alimentos para équidos.**

<b>Alimento</b>	<b>% PC</b>
Granos	8 – 10
Forrajes frescos	10 – 19
Forrajes henificados	5 – 11
Pajas y rastrojos	2 – 3
Semillas de oleaginosas	23 – 44.5

Fuente: McDonald 2002; <sup>11</sup> Kohnke 1989; <sup>71</sup> Sauvant 2004; <sup>76</sup> Bandala 1988; <sup>78</sup> Queensland Government 2006; <sup>98</sup> Richardson 1997. <sup>99</sup>

En los forrajes en general, el porcentaje de proteína cruda (PC) desciende conforme avanza la edad de los mismos. <sup>100</sup> Los contenidos de PC para cada fracción del forraje, pueden reflejar diferencias importantes entre una y otra (tallos, hoja, grano) pero manteniendo siempre la misma tendencia a disminuir conforme avanza la edad. <sup>101</sup>

La importancia nutricional de las proteínas, es que ellas son el mayor componente estructural de los músculos, sangre y muchos otros tejidos. Las proteínas

proveen de aminoácidos y nitrógeno para el crecimiento y reparación de tejidos; representando un componente esencial de todas las células vivas por constituir la estructura y regular los procesos metabólicos. En équidos, la proteína es requerida para reemplazar tejidos degradados y compensar las pérdidas por sudoración (1.4g / L).<sup>71</sup>

En la actualidad, la práctica de alimentación en los équidos involucra una mezcla de alimentos con contenido variable de proteína. Las proteínas deben ser digeridas y fraccionadas hasta aminoácidos para que estos sean absorbidos desde el tracto digestivo.

71

En lo que a absorción de aminoácidos se refiere, el sitio de digestión de la proteína es de suma importancia. Para que la proteína del alimento sea realmente aprovechada por el équido, su digestión debe darse en el intestino delgado donde se lleva a cabo la absorción de los diferentes tipos de aminoácidos contenidos en el alimento. Si hay un exceso de proteína en la dieta, esta llegará al tracto posterior y será fermentada, produciendo calor, que se sumará al incremento calórico total del caballo.

<sup>71, 102</sup> Igualmente, es preciso tener en cuenta las disminuciones o incrementos en la cantidad de proteína de la dieta, sobre todo por la contribución de las proteínas al balance ácido-base del animal, específicamente por la importante producción iónica derivada del metabolismo de los aminoácidos.<sup>80</sup>

Se sabe que algo de la proteína de los forrajes está encapsulada en la célula vegetal, la cual está rodeada por celulosa y otros componentes estructurales como la lignina.<sup>102</sup> Puesto que no existe enzima alguna producida por organismos multicelulares que sea capaz de degradar celulosa, la digestión de la proteína unida a fibra no se dará sino hasta que la ingesta alcance el ciego-colon y los microorganismos degraden la celulosa; lo que entonces resultará en fermentación de la proteína con producción de amoníaco y calor.<sup>11</sup>

En cuanto a los compuestos nitrogenados no proteicos, como su nombre lo indica, su importancia nutricional radica en que aportan nitrógeno para el crecimiento bacteriano en las cámaras de fermentación del équido, por lo que su aporte al metabolismo proteico es dudoso, ya que no se ha comprobado la absorción de aminoácidos de origen bacteriano en el ciego y colon. <sup>11</sup>

Aunque se han hecho algunas observaciones que indican desaparición de nitrógeno en el tracto posterior de los équidos, no se ha demostrado como se pierde este nitrógeno. <sup>103</sup>

### ***Aminoácidos***

Los aminoácidos son principalmente compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno, más uno o dos grupos amino (NH<sub>2</sub>). Se les conoce como los bloques de construcción de las proteínas y se acomodan en secuencias variadas para formar diferentes estructuras proteicas. <sup>11</sup>

Son aproximadamente 22 aminoácidos que forman las proteínas de las plantas (Tabla 9). De ellos, aproximadamente 10 aminoácidos no pueden ser sintetizados, o no pueden serlo con la rapidez suficiente durante los procesos metabólicos, para permitir el crecimiento normal. Estos aminoácidos son llamados esenciales y por tanto siempre deben de estar presentes en la dieta (Tabla 10). <sup>11, 71</sup>

**Tabla 9. Aminoácidos de importancia nutricional.**

Lisina (Lis)	Met + Cis	Leucina (Leu)	Histidina (His)	Glicina (Gli)
Treonina (Tre)	Triptófano (Tri)	Fenilalanina (Fen)	Arginina (Arg)	Serina (Ser)
Metionina (Met)	Isoleucina (Ile)	Tirosina (Tir)	Alanina (Ala)	Prolina (Pro)
Cisteína (Cis)	Valina (Val)	Fen + Tir	Ác. Aspártico (Asp)	Ác. Glutámico (Glu)
Glutamina (Gln)				

Fuente: Sauvant, 2004; <sup>76</sup>Harper, 1998 <sup>94</sup>

Las leguminosas y semillas de oleaginosas son fuente de proteína de alta calidad. Estas contienen los 10 aminoácidos esenciales; aunque la concentración de lisina y metionina puede ser menor en algunas leguminosas. De hecho, la lisina se usa como estándar al comparar la calidad de la proteína en los diferentes tipos de alimento. <sup>71</sup>

**Tabla 10. Aminoácidos esenciales en la dieta de équidos.**

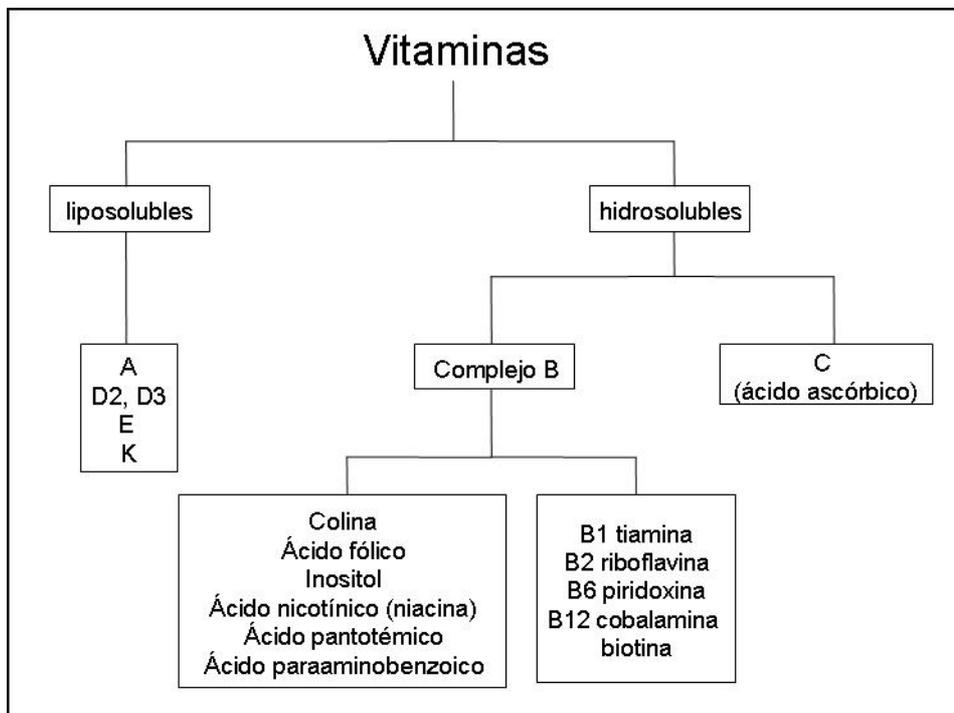
Arginina	Relacionada en el metabolismo de hormonas. Involucrada en la respuesta inmune.
Histidina	Esencial para el crecimiento. Involucrada en la síntesis de hemoglobina.
Isoleucina	Rama de la cadena de aminoácidos. Involucrada en el metabolismo proteico y energético. Metabolismo muscular.
Leucina	Rama de la cadena de aminoácidos. Involucrada en el metabolismo proteico y energético. Metabolismo muscular.
Lisina	Requerida para el crecimiento y optimización del balance de nitrógeno en los tejidos. El principal aminoácido utilizado como estándar en dietas para equinos, principalmente en los que se encuentran en crecimiento.
Metionina	Aminoácido azufrado esencial para el crecimiento. Balance del nitrógeno. Puede ser reemplazada por cistina pero no viceversa.
Fenilalanina	Esencial para el balance de nitrógeno en los tejidos, puede ser reemplazado por tirosina.
Treonina	Requerida para el crecimiento y balance de nitrógeno en los tejidos.
Triptofano	Esencial para el crecimiento, involucrada en la síntesis de niacina.
Valina	Rama de la cadena de aminoácidos. Metabolismo proteico y energético.

Fuente: Frape 1998; <sup>18</sup>NRC, 1989; <sup>77</sup>

### ***Vitaminas***

Las vitaminas son nutrientes orgánicos que se requieren en cantidades pequeñas para diversas funciones bioquímicas. Puesto que las células del organismo no tienen la capacidad de sintetizar vitaminas, estas deben provenir de los alimentos; <sup>94</sup> aunque algunas de ellas son producto del metabolismo de los microorganismos del tracto gastrointestinal en animales fermentadores. <sup>11</sup>

Existen dos grupos de vitaminas. Las liposolubles son las que se disuelven en las grasas o son absorbidas con ellas y las hidrosolubles son aquellas que se disuelven en agua o se absorben junto con ella (Figura 4).<sup>11, 96</sup>



**Figura 4. Clasificación de las vitaminas por su solubilidad.** Fuente D.C. Church<sup>96</sup>

Las principales fuentes de vitaminas para los équidos son los granos y forrajes. En el caso de los forrajes, el estado fenológico, el método de cosecha y el procesamiento que se les de, determinarán el aporte de vitaminas. De manera general, los forrajes frescos y los granos contienen más vitaminas que los henos y pajas.<sup>71</sup>

**Tabla 11. Implicaciones de las vitaminas liposolubles en el organismo.**

A	Esencial para procesos de crecimiento, requerida para los pigmentos visuales del ojo, reparación ósea, contracción de tendones, salud de la piel y membrana mucosas.
D	Esencial en la dieta, activación por luz solar a través de la piel, regulación del calcio y fósforo dietarios, mantenimiento del balance hídrico y control de la excreción.
E	Se encuentra en los tejidos. Propiedades antioxidantes.
K	No es esencial en la dieta pues la microflora intestinal del équido secreta cantidades suficientes para satisfacer las necesidades diarias. Se activa en el

---

hígado. Junto con el calcio, es esencial en la activación del factor de coagulación de la sangre.

---

Fuente: Kohnke 1989<sup>71</sup>

Las vitaminas son esenciales para muchos procesos metabólicos. La mayoría de ellas participan como cofactores de enzimas en los procesos metabólicos de carbohidratos, proteínas y grasas. Asimismo, cumplen funciones antioxidantes, reguladoras hormonales, entre muchas otras de importancia fisiológica (Tablas 11 y 12).

**Tabla 12. Implicaciones de las vitaminas hidrosolubles en el organismo.**

B1 Tiamina	Participación importante en el metabolismo de los carbohidratos y la transmisión nerviosa.
B2 Riboflavina	Involucrada en funciones metabólicas con dos coenzimas requeridas en la producción de energía en condiciones aerobias.
B3 Nicotinamida	El ácido nicotínico de los alimentos es convertido en nicotamida en el intestino que está involucrada en el metabolismo de carbohidratos, grasas y aminoácidos. Requerida mayormente en équidos de trabajo.
B5 Ácido pantoténico	Constituyente de muchas coenzimas involucradas en el metabolismo de carbohidratos, proteínas y grasas.
B6 Piridoxina	Requiere de niacina y riboflavina para convertirse en forma activa. Involucrada en la formación de sangre.
B12 Cobalamina	Requerida en menos cantidades que la mayoría de las vitaminas. Síntesis de metionina; actividad con el ácido fólico y ácido propiónico para la energía.
Ácido fólico	Asociado con la vitamina B12, siendo necesario para la conservación activa de esta. Producción de células sanguíneas en conjunto con la B12.
Biotina	Actividad como coenzima durante la síntesis de glucosa y formación de ácidos grasos, RNA y DNA en células.
C	Importante antioxidante, formación de colágena, utilización de aminoácidos.

Fuente: Kohnke 1989<sup>71</sup>

En équidos, la cantidad de vitaminas aportadas por la dieta va a depender de la calidad del alimento. Una buena proporción del requerimiento total de vitaminas del complejo B se cubre por las sintetizadas por los microorganismos del ciego y colon.<sup>71</sup>

#### 4.2.3. Calidad del alimento

La naturaleza y proporción de las diferentes fracciones nutricionales determinarán la calidad del alimento. La calidad es un término que implica la composición química y las propiedades físicas del alimento, aspectos que están relacionados con la especie vegetal en cuestión, las particularidades del clima y suelo donde crece, así como su estado fenológico y la fracción elegida. Para determinar la calidad de un alimento pueden considerarse tres aspectos principales:

- a) Las propiedades físicas
- b) La composición química
- c) La digestibilidad

Las propiedades físicas del alimento, se evalúan sensorialmente, tomando en cuenta aspectos como: procedencia, textura, color, olor, relación hoja-tallo, entre otros.

55

Con respecto a la composición química, los datos de interés son el contenido de humedad, el contenido de materia orgánica, la proporción de proteína cruda, la proporción de contenidos celulares, así como la proporción de fibra y sus fracciones.<sup>11</sup>

#### 4.2.4. Digestibilidad del alimento

La digestibilidad se estima por diferencia entre la proporción de nutrientes ingeridos y la de nutrientes excretados con las heces; reflejando entonces el porcentaje de nutrientes que fueron absorbidos por el animal. Suele representarse como coeficiente de digestibilidad y se expresa en porcentaje de materia seca.<sup>11</sup>

La digestibilidad aparente de la materia seca se utiliza para estimar la calidad de un alimento; sin embargo, algunos autores argumentan que esta variable refleja pobremente el valor nutritivo del mismo, principalmente porque no relata el sitio de

digestión, el tipo de nutrientes absorbidos y las vías de utilización de los mismos dentro del organismo.<sup>104</sup>

La digestibilidad de un alimento está determinada en gran medida por características físico-químicas y aunque algunos aspectos importantes de la estructura están relacionados al potencial de degradación,<sup>91</sup> a menudo es difícil alcanzar el máximo potencial de digestibilidad debido a las interacciones entre alimentos o de estos con el animal.<sup>105</sup>

En algunos casos la digestibilidad se estima para la fracción de materia orgánica y entonces se refiere como porcentaje de digestibilidad de la materia orgánica (DMO). En otros casos puede asignarse como digestibilidad de FDN, FDA o PC. En cualquier caso, al hablar de digestibilidad se debe tener en cuenta que esta es una propiedad asignada al alimento pero que en realidad buena parte de ella estará en función de la habilidad del animal para procesarlo. La digestibilidad es resultado de características biológicas, físicas y químicas del alimento que repercuten en la utilización de los nutrientes por el animal.<sup>55</sup>

#### 4.2.5. Metabolismo

La palabra metabolismo describe la secuencia o sucesión de procesos bioquímicos que tienen lugar en el organismo vivo. Como parte del metabolismo existen procesos catabólicos y procesos anabólicos. Los procesos catabólicos involucran la degradación de compuestos complejos para transformarlos en sustancias simples. Los procesos anabólicos, por su parte, son aquellos por medio de los cuales se sintetizan compuestos complejos a partir de sustancias simples.

Todo este conjunto de reacciones necesarias para la transformación de nutrientes, forman parte del metabolismo general (Tabla 13).<sup>11</sup>

Como resultado de los diversos procesos metabólicos se libera energía para ser empleada en trabajo mecánico o químico, se producen proteínas para la construcción o reparación de tejidos, se sintetizan moléculas para la formación de hormonas y otros compuestos, se forman reservas corporales para la disposición de nutrientes ante incrementos en la demanda, entre otras funciones de importancia fisiológica.<sup>11</sup>

**Tabla 13. Algunos productos metabólicos de importancia para el organismo.**

Acetato y ABHB*	Energía y síntesis de ácidos grasos
Glucosa	Energía, síntesis de ácidos grasos, glucógeno y triglicéridos
Triacilglicéridos	Energía, síntesis de triglicéridos y ácidos grasos
Acetoacetato	Energía
Urea	Excretada en la orina
Aminoácidos	Síntesis de proteína y otros aminoácidos

\* ácido beta-hidroxibutirato. Adaptado de Mc Donald<sup>11</sup>

El metabolismo del individuo está determinado por una variedad de factores. Entre los más importantes destacan el genotipo, la talla y el nivel de actividad. Un genotipo con un metabolismo basal alto tiene requerimientos nutricionales diferentes a aquel con una tasa metabólica menor. En todas las especies, el consumo voluntario en genotipos de diferente talla a la madurez está correlacionado positivamente con el metabolismo basal o requerimientos energéticos de mantenimiento.<sup>106</sup>

Así entonces, el peso es un factor importante que se relaciona con la mayoría de los procesos fisiológicos y características del organismo.<sup>107</sup> La tasa metabólica, los requerimientos nutricionales y el total de materia seca ingerida son aspectos del organismo que cambian conforme lo hace la talla corporal.<sup>14</sup> Sin embargo, estos cambios no se dan de manera proporcional. Aunque todos los animales tienen una capacidad similar para cubrir sus necesidades de energía cuando se les ofrece el mismo

alimento, los organismos pequeños tienen una capacidad de consumo sustancialmente mayor por kilogramo de peso vivo en comparación con los de talla mayor.<sup>106</sup>

El peso metabólico ( $PM = PV^{0.75}$ ) es un exponente de la masa corporal que otorga proporcionalidad en estimaciones de índices de procesos como tasa de crecimiento (kg/día), tasa metabólica basal (MCal/día), síntesis proteica (g/día) y consumo de energía (g/día) en homeotermos de diferente talla corporal;<sup>108</sup> por lo que está relacionado a los requerimientos de los animales<sup>109</sup> y permanece como una primera aproximación para hacer comparaciones inter e intraespecie.<sup>108</sup>

Por ejemplo, al comparar el consumo de cierto alimento como gramos de materia seca por kilogramo de peso vivo de dos animales de talla distinta se tendría que:

Animal A. – PV 450 kg. – Consumo. – 26.4 g kg de PV

Animal B. – PV 150 kg. – Consumo. – 34.8 g kg de PV

El animal B, de talla menor, consume más alimento por kg de PV que el mayor.

Si el peso de ambos se lleva a PM ( $PV^{0.75}$ ):

Animal A. –  $PM = 450^{0.75} = 97.7$  kg

Animal B. –  $PM = 150^{0.75} = 42.8$  kg

Y el consumo total de materia seca se divide entre el PM:

Animal A. –  $450 * 26.4 = 11,880$  g /  $97.7 = 122$  g

Animal B. –  $150 * 34.8 = 5,220$  g /  $42.8 = 122$  g

Entonces, en ambos se tendría el mismo consumo en gramos por kilogramo de peso metabólico, lo cual permite hacer una comparación más justa tomando en cuenta las diferencias en tasa metabólica entre animales.

#### 4.2.6. Valor nutritivo del alimento

El valor nutritivo se define como la concentración de nutrientes en un alimento o la respuesta del animal por unidad consumida.<sup>110</sup> El valor nutritivo no es constante pues está influenciado por la digestibilidad del alimento y la cantidad consumida por el individuo,<sup>111, 112</sup> que en consecuencia alteran la cantidad y proporción de nutrientes absorbidos.<sup>112</sup>

De manera general, el valor nutritivo es una consecuencia de la calidad del alimento, principalmente de su concentración de nutrientes, pero depende fuertemente de factores del animal tales como: consumo total de materia seca, digestibilidad de cada fracción alimenticia, cantidad de nutrientes absorbidos desde el tracto gastrointestinal y eficiencia de utilización de los productos absorbidos.<sup>113, 114</sup>

En los équidos, la disponibilidad de nutrientes está sujeta a la composición química del alimento y el sitio de digestión; esto explica porqué aun entre alimentos con la misma proporción de ED el rendimiento de nutrientes absorbibles difiere. Es entonces razonable considerar no solo la calidad del alimento, sino también los procesos digestivos y metabólicos del animal, pues la tasa de extracción de nutrientes está fuertemente determinada por el sitio del tracto gastrointestinal donde se digieren las fracciones alimenticias y entonces se absorban los nutrientes.<sup>115, 116</sup> De ahí que el valor nutritivo se mida en términos energéticos y proteicos.

##### a. Valor energético

La energía se define como la capacidad de trabajo.<sup>11</sup> El contenido de energía por unidad de masa (MCal Kg<sup>-1</sup> o MJ Kg<sup>-1</sup>) suele utilizarse para expresar el valor energético de un alimento y estimar su potencial para cubrir los requerimientos del animal.<sup>117</sup> Los valores energéticos para un alimento pueden asignarse a distintos niveles dependiendo

de una serie de factores interrelacionados, incluyendo nivel de consumo, sitio de digestión y absorción de nutrientes, metabolismo, interacción entre sustratos y su utilización a nivel celular para cubrir los diferentes rubros de requerimientos.<sup>117</sup> Con fines de evaluación de los alimentos y asignación de requerimientos del animal, la energía se divide en cuatro categorías: energía bruta (EB), energía digestible (ED), energía metabolizable (EM) y energía neta (EN).<sup>11</sup>

La energía bruta o calor de combustión es la energía liberada como calor cuando una sustancia orgánica es oxidada por completo a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. Dentro de la clasificación de la energía como parte del valor nutritivo de los alimentos, la EB está relacionada más bien a la composición química y no provee información alguna respecto a la disponibilidad de energía al animal. No obstante, y a pesar de su insignificante utilidad en métodos de predicción, la EB es realmente el único parámetro que puede ser utilizado para hablar de la calidad de cierto alimento, pues ED, EM y EN son consecuencia de procesos en los que intervienen factores del animal, que las hacen variables, menos controlables y difícilmente estimables; aunque su utilidad y precisión con fines de predicción son mayores.<sup>117</sup>

El contenido de EB se asume constante entre los diversos alimentos; de ahí una limitante para su uso en los sistemas de alimentación. Un almidón en el tracto digestivo del équido puede ser digerido en el intestino delgado para rendir glucosa o fermentado en el ciego-colon para rendir ácidos grasos volátiles; resultando en dos vías distintas por las que el mismo nutriente aporta energía, difiriendo entonces su valor energético.<sup>117</sup>

La recuperación de energía de un alimento en los équidos va a depender de la naturaleza del alimento, su forma física, la cantidad consumida, la velocidad de tránsito intestinal y la habilidad misma de las enzimas digestivas y microbiota intestinal para digerirlo. De modo que, el aporte energético de un alimento cambia de acuerdo al

proceso de digestión que sufra con base en sus características físico-químicas, el nivel de consumo y el tiempo de exposición a actividad enzimática o microbiana.<sup>117</sup>

Con base en lo anterior, una aproximación de la cantidad de energía que se queda en el animal cuando el alimento ha recorrido el tracto gastrointestinal se hace al restar la energía perdida en heces, obteniendo el valor de ED que, como una proporción de EB, puede variar desde 0.3 para forrajes maduros a 0.9 para cereales de alta calidad.

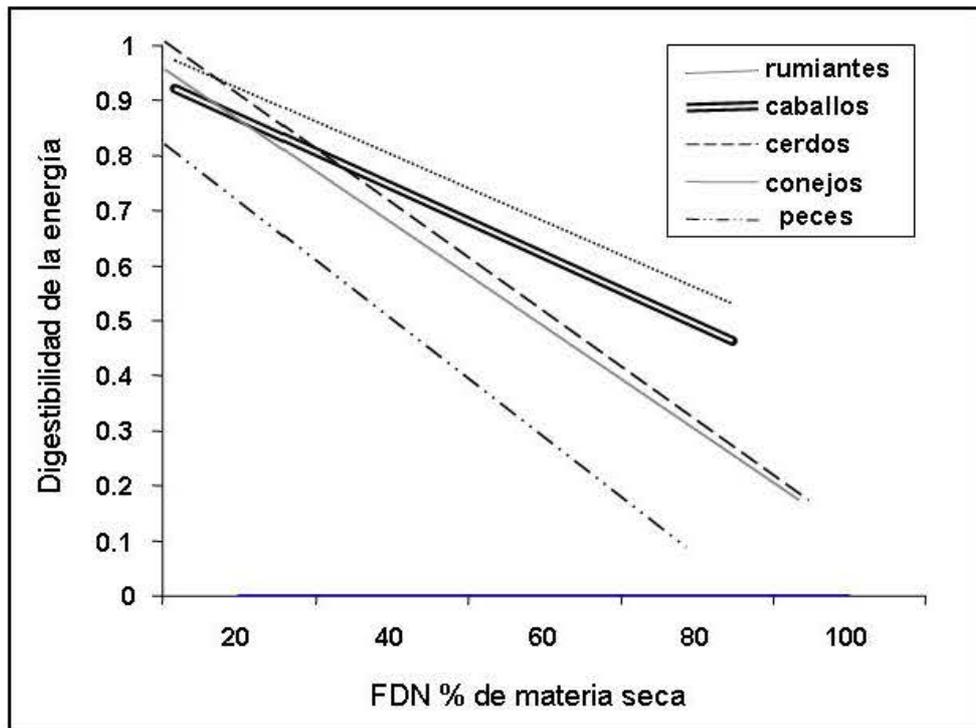
117

La digestibilidad es altamente variable dependiendo de los diferentes constituyentes del alimento (carbohidratos no estructurales, carbohidratos estructurales, lípidos y proteína). Así entonces, el valor de ED puede sobreestimar el valor de alimentos ricos en fibra, como henos y pajas, en relación a los ingredientes bajos en fibra y altamente digestibles. Por ello para los équidos, como para los cerdos, los rumiantes y los conejos, la predicción de la digestibilidad de la energía o de la materia orgánica se basa en el conocimiento del contenido de paredes celulares de los alimentos.

76

De igual manera, en un mismo nivel de paredes celulares el rendimiento de energía digestible de un alimento va a diferir entre una especie u otra (Figura 5), por lo que se deben utilizar valores desarrollados exclusivamente con la especie que se esté trabajando.<sup>76</sup>

En algunos sistemas los valores de energía para los alimentos de los équidos se expresan en energía digestible (ED). Sin embargo, esta aproximación falla en considerar pérdidas importantes de energía asociadas con la digestión y el metabolismo del alimento. Además, diversos factores ambientales y los procesos metabólicos en el animal pueden afectar el rendimiento de energía digestible.<sup>117</sup>



**Figura 5. Comparación de digestibilidad de la energía entre especies.** Fuente: Sauvant

76

En el cálculo de las necesidades de energía de un animal se utiliza el peso metabólico. Esto tiene origen en la tasa metabólica basal (TMB), la cual se estima que en mamíferos terrestres, incluyendo équidos, es de aproximadamente  $70 \text{ kcal/kg PV}^{0.75}$ . Para la mayoría de las especies, se considera que al restar la energía perdida en gases producidos en el tracto gastrointestinal, orina e incremento calórico, el requerimiento de energía digestible se aproxima al doble de la TMB ( $140 \text{ kcal/kg PV}^{0.75}$ ).<sup>117</sup>

En équidos, como en los cerdos y rumiantes, en el metano y la orina se pierde energía.<sup>118</sup> Las pérdidas energéticas por metano y orina cuentan para una diferencia extra del 8% entre cereales y forrajes, y de 16% entre cereales y oleaginosas, diferencias no aparentes dentro del sistema de energía digestible.<sup>20</sup> De manera que una vez restadas las pérdidas de energía en heces (EH), orina (EO) y en gases producto de la fermentación (EG), se obtiene la energía metabolizable ( $EM = ED - (EO + EG)$ ), la cual es un estimado de la energía disponible al animal y representa una progresión con

capacidad de descripción, útil en la estimación de valores de energía del alimento y los requerimientos del équido.<sup>20</sup>

Se reconoce que la digestibilidad de la materia seca y materia orgánica, así como los contenidos de materia seca digestible, FDN, FDA y proteína, son las principales fuentes de variación del contenido de energía metabolizable dada la gran variación que muestran en sus porcentajes de digestibilidad y la pérdida de energía en orina y metano.

118

Después de la energía metabolizable está la energía neta, la cual se obtiene restando la energía perdida en el incremento calórico del animal. El rendimiento de EN de un alimento está determinado por la eficiencia de utilización de la energía metabolizable.

La eficiencia de la utilización de energía de los nutrientes para la producción de ATP es de 38 % para lípidos, 40 % para glucosa, 34 % para los AGV más comunes y 31 % para la proteína. En los animales en ayuno la energía-libre es obtenida del catabolismo oxidativo de las reservas corporales, principalmente lípidos. Por tanto, el valor de EN de un alimento para mantenimiento se define como el contenido de energía que contribuye a reparar las reservas corporales en animales en ayuno. Consecuentemente, los valores de EN de los nutrientes comparados con los de los lípidos corporales es de 100 % para glucosa, 95 % para lípidos, 84 % para AGV y 78 % para proteína.<sup>119</sup>

El INRA, el cual basa sus estimaciones en EN, menciona que la unidad ideal para los alimentos es la energía neta EN. Para calcular la EN es necesario partir de un valor de EB y predecir sucesivamente los valores de digestibilidad de la energía, así como las pérdidas de energía en forma de gases, orina e incremento calórico. La

estimación de EN a partir de EM cuando es necesario se hace igualmente con la ayuda de ecuaciones específicas y considerando las pérdidas por el incremento calórico.<sup>20</sup>

A partir de estudios con caballos y deducciones hechas de estudios con cerdos y rumiantes,<sup>120</sup> calcularon el aporte cuantitativo de nutrientes de diferentes alimentos. La digestión enzimática en el intestino delgado contó para 0.85 en el caso del almidón consumido; mientras que para el caso de las paredes celulares, esta digestión enzimática contó para 0.05 con henos de pasto, 0.08 con pasto verde, 0.10 con alfalfa y 0.15 cuando se trató de paredes celulares de concentrados. Entre 0.90 y 0.95 de extracto etéreo aparentemente digerido, correspondió a ácidos grasos de cadena larga (AGCL) absorbidos desde el intestino delgado.<sup>20</sup>

Con base en datos a partir de rumiantes se dedujo que el metano y el calor de fermentación totalizaron para algo como el 8 % de la energía bruta de los sustratos fermentados. Además, se estimó la producción de ácidos grasos volátiles (AGV) considerando que las proporciones molares de estos reflejan la naturaleza del alimento degradado: en general, los alimentos altos en fibra resultan en mayores proporciones molares de acetato.<sup>120, 121</sup>

El sitio de digestión de las fracciones del alimento va a determinar el tipo, cantidad y proporciones de sustratos absorbidos para ser utilizados en el metabolismo. Se asegura que los valores de *km* para nutrientes absorbidos desde el intestino delgado deberían ser similares a aquellos en monogástricos y para AGV's, lo mismo que en rumiantes. Para glucosa y lactato (GL) se asigna un valor *km* de 0.85, para los ácidos grasos de cadena larga (AGCL) de 0.80 y para los aminoácidos de 0.70. En el caso de los ácidos grasos volátiles (AGV), los valores de *km* variaron de 0.64 a 0.68.<sup>120</sup>

La energía absorbida reflejará la suma de la energía bruta de los nutrientes absorbidos. El valor para glucosa/lactato, acetato, propionato, butirato, aminoácidos y

AGCL es de 3.74, 3.49, 4.96, 5.96, 5.60 y 9.50 kilocalorías por gramo, respectivamente.

120

Para ilustrar lo anterior la Tabla 14 muestra la cantidad en gramos por kilogramo de materia seca de algunos productos finales de la digestión, con la proporción de energía absorbida y contribución relativa en términos energéticos con base en el valor *km*, para cuatro alimentos distintos en caballos.<sup>120</sup>

**Tabla 14. Productos finales de la digestión (g kg-1 de MS), proporción de energía absorbida (EA) y valores *km* derivados de algunos alimentos.**

<b>Productos finales de la digestión</b>					
<b>Sustrato</b>	<b>GL</b>	<b>AA</b>	<b>AGCL</b>	<b>AGV's</b>	<b>Valores <i>km</i></b>
<b>Maíz, grano</b>	628	53	32	174	0.80
EA	0.63	0.08	0.08	0.21	
<b>Avena, grano</b>	390	63	47	188	0.78
EA	0.48	0.11	0.15	0.26	
<b>Heno (bueno)</b>	74	49	12	387	0.65
EA	0.12	0.12	0.05	0.71	
<b>Heno (malo)</b>	40	21	5	348	0.61
EA	0.09	0.06	0.03	0.82	

GL, glucosa; AA, aminoácidos; AGCL, ácidos grasos de cadena larga; AGV's, ácidos grasos volátiles. (adaptado de Vermorel y Martin-Rosset, 1997).<sup>120</sup>

Es claro que los alimentos degradados en el intestino delgado, aportan más energía vía glucosa y lactato, con una resultante alta eficiencia de utilización. En contraste, los alimentos degradados en el ciego-colon proveen energía vía AGV con una menor eficiencia. Además, debe ponerse atención en que *km* es aún más reducida en los casos en que es mayor el costo energético por ingerir forrajes.<sup>120</sup>

Esto último es especialmente importante. Al considerar el valor nutritivo de los alimentos, hay que tomar en cuenta el gasto energético por comer. La forma física y la naturaleza de la dieta tienen efecto significativo en el gasto energético durante la

ingestión. Esto en rumiantes ha mostrado ser un factor significativo que afecta la utilización de energía del alimento <sup>122</sup> y en équidos se ha demostrado que el costo energético asignado a la ingestión por kilogramo de materia seca de alimento es de dos a tres veces mayor que en rumiantes; <sup>120, 123</sup> lo que se debe a que los équidos dedican al menos el doble de lo que los rumiantes en la reducción del tamaño de las partículas de forrajes.

Entonces, en caballos, la reducción de la partícula a un tamaño adecuado para la digestión se debe completar durante la fase de ingestión, lo cual, se supone, debe representar un mayor gasto energético al équido. En un estudio que comparó el costo de ingerir henos y el de ingerir maíz peletizado, se demostró que el primero promedió 0.10 del consumo de EM comparado con solo 0.01 para el consumo de maíz. <sup>123</sup>

Finalmente, en el animal trabajando la energía utilizada para actividad física se obtienen también principalmente de reservas corporales (primero glucógeno muscular y lípidos circulantes, después glucógeno hepático y lípidos del tejido adiposo) y en un menor grado de los nutrientes. Así entonces, de la misma manera que para mantenimiento, el valor nutritivo de un alimento para trabajo está en función de su capacidad para reparar las reservas corporales gastadas durante el trabajo. La eficiencia de utilización de energía metabolizable para la producción de ATP que es a partir de los diversos sustratos, es la misma para trabajo que para mantenimiento. Sin embargo, la eficiencia de utilización de ATP para desempeñar trabajo mecánico es baja, 55 % máximo, y disminuye conforme se incrementa la velocidad de contracción del músculo. Esto significa que los nutrientes tienen el mismo valor energético relativo para mantenimiento y trabajo; pero la eficiencia de utilización del ATP rendido disminuirá conforme se intensifique el trabajo. <sup>119</sup>

## b. Valor proteico

La cifra de proteína cruda proporciona una estimación del nitrógeno que existe en el alimento, pero no da idea de la utilidad que este nitrógeno tiene para el animal. Antes de que los nutrientes sean disponibles al organismo el alimento es digerido, fraccionándose entonces en compuestos más sencillos para ser absorbidos.<sup>11</sup>

La proteína digerible de un alimento se estima mediante ensayos de digestibilidad. En estos ensayos se obtienen cifras de digestibilidad “aparente”, no “real”, debido a la presencia en las heces de nitrógeno metabólico que no deriva directamente del alimento. Por tanto, estas cifras aparentes son más bajas que las reales pero, puesto que es inevitable la pérdida de nitrógeno metabólico por las heces, constituyen una medida bastante aproximada del valor nutritivo. Por lo general, nunca se intenta determinar la digestibilidad real y los coeficientes que se emplean a diario son los valores aparentes.<sup>11,71</sup>

Si al hablar de valor proteico se piensa en digestibilidad de la proteína cruda, se debe diferenciar entre digestibilidad aparente total o digestibilidad real por sección del tracto gastrointestinal. La digestibilidad aparente total de la proteína, se estima al restar el contenido de nitrógeno en heces del contenido de nitrógeno crudo del alimento antes de haber sido ingerido. En el équido, esta digestibilidad del nitrógeno en el total del tracto digestivo se encuentra dentro de un rango estrecho para una variedad de ingredientes.<sup>102</sup> Estudios realizados en torno a proteína digerible señalan que el rendimiento de esta varía de 45 a 85%, siendo los rangos mayores para los granos de cereales y los rangos menores para los forrajes toscos o viejos.<sup>95</sup>

Sin embargo, la nutrición proteica de los équidos depende de la cantidad real de aminoácidos aportados por la dieta y tal cantidad de aminoácidos depende del sitio de

digestión de la proteína en el tracto digestivo. Por lo que el objetivo al estudiar el valor proteico de los alimentos en estas especies, se debe centrar en conocer la cantidad de proteína digerida en intestino delgado para rendir aminoácidos, y la proporción de proteína digerida en ciego-colon para producir amoniaco y proteína microbiana.<sup>124, 125</sup>

El sitio de digestión y la extracción de aminoácidos depende en primera instancia de la naturaleza y calidad de la proteína, pero también de la asignación de horarios y la cantidad de materia seca ingerida que resulten en una velocidad de tránsito que permita un tiempo suficiente de exposición de la proteína a la actividad enzimática en el intestino delgado. Considerando que el tiempo medio de permanencia del alimento en el estómago y el intestino delgado es comparativamente corto con respecto al ciego-colon (1.5 h vs. 18 a 24 h),<sup>124</sup> es sencillo comprender porque la digestión del nitrógeno de la dieta en el intestino delgado se afecta por las cantidades y horarios de asignación de los componentes de la ración: concentrados vs. forrajes.<sup>125</sup>

Se estima que la digestibilidad de la proteína verdadera en el intestino delgado es:

- 30 a 45 % para henos de gramíneas
- 60 % para heno de alfalfa
- 60 a 70 % para pasto
- 70 a 80 % para concentrados

Se ha encontrado que la digestión de la proteína de los granos de cereales y de las oleaginosas se da principalmente en el intestino delgado;<sup>116, 126</sup> de hecho, se estima que en un mismo nivel de PCD, los concentrados proveen del 20 al 40 % más de aminoácidos que los forrajes.<sup>125</sup>

Entonces, los requerimientos de aminoácidos son cubiertos principalmente por los aminoácidos absorbidos en el intestino delgado cuando los caballos consumen una

alta proporción de concentrados. Los residuos de alimentos no digeridos que dejan el ileon están sujetos a degradación microbiana. Para esa fracción de proteína verdadera que escapa a la digestión por enzimas propias de mamíferos, los coeficientes de digestibilidad en el ciego-colon se han estimado ser del 75 al 90 % para forrajes y concentrados, respectivamente.<sup>127</sup> Para los forrajes de muy pobre calidad como pajas y rastrojos, la digestión depende de la complementación de energía y nitrógeno en la dieta.<sup>125</sup>

Se sabe que la proteína de los forrajes se encuentra encapsulada en la pared celular, misma que está rodeada por celulosa y otras fibras estructurales. Trabajando con forrajes de calidad variable,<sup>115</sup> encontraron que mientras que la digestibilidad verdadera de las proteínas del forraje se aproximaba a 100 %, la fracción de proteína totalmente digestible que fue digerida en el intestino delgado varió de 2 a 29 %. La acción fermentativa en el intestino grueso tiene tal efecto “enmascarador” sobre la digestión en el intestino delgado, que la proteína digestible total como una fracción del total de proteína, ya sea en forrajes de baja o alta calidad, puede parecer similar.<sup>102</sup>

El principal sitio de digestión de la proteína de los forrajes es el intestino grueso, lo que resulta en producción de amoníaco más que en absorción de aminoácidos. La digestibilidad verdadera de las proteínas de los forrajes en el intestino delgado de los équidos suele ser del 37 % comparada con el 96 % en el intestino grueso, y las concentraciones de aminoácidos plasmáticos se elevan solo después de consumir forrajes de buena calidad.<sup>115, 116</sup> Lo que significa que para que los forrajes sean un recurso importante de aminoácidos, deben ser de muy alta calidad (reflejada por su proporción de contenidos celulares) de manera que los aminoácidos liberados de las proteínas de las fracciones inmaduras, solubles durante la masticación, puedan ser absorbidos en el intestino delgado.<sup>102</sup>

La capacidad del intestino delgado para digerir proteína alimenticia se estima alrededor de 80 mg N/kgPV/comida. A partir de datos comparativos, se estima que esta capacidad se alcanza con consumos de 125 mg de N/kgPV/comida cuando la dieta incluye concentrados, pero cuando la dieta es a base de forrajes se requieren consumos de aproximadamente 300 mg de N/kgPV/comida para alcanzar la misma cantidad de proteína digerida en el intestino delgado. Entonces para alcanzar la capacidad del intestino delgado para digerir proteínas, la concentración proteica en el forraje debe ser mayor. Sin embargo, cuando se utilizan forrajes de alto contenido proteico, la excreción de nitrógeno en las heces y orina es muy alta, lo cual es ecológicamente inadecuado; además de que el exceso de amoníaco en el ciego-colon resulta peligroso en équidos.<sup>102</sup>

El nitrógeno no proteico (NNP) puede contar para un 10 a 30 % del total del nitrógeno, dependiendo del tipo de forraje (gramínea o leguminosa), el estado vegetal y el método de conservación. En los concentrados el NNP es bajo.<sup>125</sup>

En el intestino grueso, tanto la proteína verdadera como el nitrógeno no proteico del alimento son degradados parcialmente a aminoácidos, péptidos y amoníaco, para ser resintetizados a proteína microbiana dependiendo de la energía disponible y el tipo de nitrógeno consumido.<sup>25</sup> Cualquier cantidad de aminoácidos y amoníaco presentes en el lumen del ciego-colon es utilizada por la microflora para satisfacer sus necesidades de nitrógeno con respecto a la cantidad de energía disponible.<sup>125</sup>

Las bacterias son conocidas por su capacidad de utilizar aminoácidos y nitrógeno no proteico para sintetizar su propia proteína a una tasa estimada para alcanzar un valor de 2.5 mg de N por gramo de materia seca por hora. Las proteínas microbianas subsecuentemente proveen aminoácidos libres y amoníaco. Sin embargo la utilización eficiente de esos aminoácidos está muy cuestionada.<sup>125</sup>

La efectividad en la absorción de aminoácidos a nivel cecocólico está en discusión. Utilizando isótopos, <sup>128</sup> demostraron que solo del 1 al 6 % de la cisteína plasmática fue de origen microbiano. En otro estudio, los niveles de proteína sérica en ponies alimentados con proteína de sobrepaso en yeyuno e ileon fueron menores que en los alimentados con una dieta normal. <sup>129</sup> No se ha demostrado entonces absorción activa de aminoácidos en el intestino grueso y aunque se ha sugerido la difusión pasiva de aminoácidos a través de la pared intestinal del ciego-colon, la idea está muy discutida, pues en estudios *in vitro* se ha demostrado la impermeabilidad de la mucosa del colon a los aminoácidos. Lo que si está bien demostrado es la difusión de amoniaco del lumen intestinal al torrente sanguíneo y de urea en el sentido opuesto. Podría concluirse que los aminoácidos microbianos sintetizados en el intestino grueso no contribuyen en absoluto al aporte de aminoácidos esenciales en el equino y si acaso contribuyen en cierta medida a cubrir las demandas de aminoácidos no esenciales es porque en caballos adultos algo del amoniaco absorbido desde el intestino grueso puede ser utilizado para la síntesis de tales aminoácidos en el hígado. <sup>102, 125</sup>

Una proporción de la proteína alimenticia es excretada en las heces: la proteína cruda no digestible (PCND), que se relaciona con el contenido de proteína cruda y decrece linealmente conforme la proporción de concentrado en la dieta aumenta. <sup>130</sup>

Las diferentes fracciones de nitrógeno en las heces, que son representativas de la digestión y metabolismo del nitrógeno, se estiman como sigue: <sup>131</sup>

- nitrógeno insoluble ácido detergente, en un 5 %
- nitrógeno endógeno (3 g N/kg de materia seca ingerida)
- nitrógeno de proteína microbiana (50 a 60 % del total de nitrógeno en heces)

El nitrógeno endógeno mas el nitrógeno microbiano contaría para cerca del 88 % del total de nitrógeno fecal. La cantidad de nitrógeno soluble es más bien baja, del 5 al 8

% del total de N fecal y las pérdidas de nitrógeno endógeno por orina son de alrededor de 339 mg/kg de peso metabólico.<sup>125</sup>

#### 4.2.7. Requerimientos

Se puede definir como requerimientos, la cantidad de nutrientes necesarios para cubrir las demandas metabólicas de un organismo para mantener sus procesos basales y el gasto adicional que le representan actividades extras como el ejercicio, la enfermedad, la producción, el crecimiento o estados fisiológicos especiales. Los requerimientos se estiman como valores y se cubren con sustancias llamadas nutrientes.

11, 71

Los requerimientos son cubiertos por los nutrientes de la ración, y por las reservas corporales cuando el aporte de nutrientes no es suficiente. Las asignaciones de nutrientes son las cantidades de nutrientes provistas por la ración. Formular la ración consiste en elegir los ingredientes y determinar las cantidades de alimentos para ser ofrecidos a los équidos y así proveerles con las cantidades apropiadas de nutrientes para cubrir sus requerimientos y mantenerlos en buena condición. Una asignación recomendada es la cantidad de nutrientes que debería aportarse al animal para alcanzar un nivel de desempeño deseado y permitido por su potencial.<sup>119</sup>

En el ámbito de los équidos, los requerimientos están definidos pero aún no tan detalladamente como en otras especies. Esto se debe principalmente a la menor cantidad de investigación e información generada en el área, pero también está relacionado con lo complicado que resulta estandarizar técnicas y alcanzar el éxito en la estimación de ciertos parámetros de investigación.<sup>17</sup>

Los conceptos de requerimientos incluyen primero a los de mantenimiento y después a los llamados requerimientos extras que incluyen los de reproducción,

lactación, crecimiento y trabajo. El gasto diario promedio de un équido varía con sus características físicas y fisiológicas, así como con la actividad física. De manera general, el requerimiento total se puede considerar como la suma del gasto de mantenimiento y el incremento en el gasto asociado con otras actividades, componentes que no son independientes.<sup>71</sup>

#### a. Mantenimiento

Los requerimientos de mantenimiento suelen concebirse como la cantidad de nutrientes necesarios para que el animal mantenga su peso corporal. Suele pensarse que en este nivel el animal no debe tener actividad alguna; sin embargo, en los équidos todas aquellas actividades relacionadas con la existencia tales como: la masticación, el desplazamiento mínimo necesario, la búsqueda y cosecha de alimento, el incremento calórico durante la ingestión y digestión, la termorregulación (sea para eliminar o producir calor), así como el metabolismo basal, imponen un gasto que contribuye al rubro de mantenimiento. Entonces, como requerimiento de mantenimiento se considera a la cantidad de nutrientes requerida para mantener una ganancia de peso igual a cero, tomando en cuenta las actividades normales del équido.<sup>71</sup>

#### *Energía para mantenimiento*

En los animales en ayuno la energía-libre es obtenida del catabolismo oxidativo de las reservas corporales, principalmente lípidos. Por tanto, al estimar los requerimientos lo que se debe buscar es la cantidad de energía necesaria para reparar las reservas corporales del animal. En équidos en descanso, los requerimientos de energía resultan principalmente de la utilización de energía libre para mantenimiento (procesos metabólicos y fisiológicos como transporte de iones y moléculas a través de las

membranas para mantener gradientes de concentración, ciclos bioquímicos de sustratos, reciclaje de proteína y fosfolípidos, secreción, excreción, motilidad intestinal, circulación sanguínea y tono muscular).<sup>119</sup>

El INRA propone que los requerimientos de mantenimiento son el principal componente del gasto energético diario,<sup>19</sup> contando incluso para el 50 a 80 % de los requerimientos de un caballo trabajando.<sup>119</sup>

El gasto energético de mantenimiento es proporcional al peso metabólico; sin embargo, existen algunas variaciones individuales por kilogramo de peso metabólico que suelen estar asociadas con el temperamento del animal. Los aumentos en necesidades van de 10 a 20 % y las variaciones se deben, probablemente, a las diferencias en tasa metabólica tisular, tono muscular y actividad física espontánea.<sup>119</sup>

El efecto de la raza probablemente está ligado de algún modo al efecto de temperamento. Caballos de razas ligeras muestran gastos energéticos de un 20 % mayor en promedio que los caballos de razas pesadas o los ponies.<sup>120</sup>

El efecto del sexo debe ser considerado, debido a que los requerimientos de mantenimiento se han encontrado de un 10 a 15 % mayores en machos enteros que en castrados o hembras.<sup>119</sup>

Los incrementos en el nivel de alimentación pueden elevar el gasto energético de mantenimiento debido a la alta tasa metabólica de los tejidos viscerales y el hígado.<sup>132</sup>

Un aspecto importante a considerar es el tipo de alimento y, en consecuencia, el sustrato encaminado a cubrir los requerimientos de cada rubro, sobre todo energía. La energía perdida como calor por el trabajo de digestión puede variar ampliamente en caballos dependiendo de la composición de la dieta. Las dietas que requieren de una digestión comparativamente más fermentativa en el intestino grueso resultan más termogénicas que aquellas cuya digestión se da mayormente en el intestino delgado.<sup>117</sup> El cociente

respiratorio ha sido utilizado para estimar el gasto energético y la proporción de sustrato utilizado durante el trabajo. La cantidad de CO<sub>2</sub> eliminado, relacionado con la producción de calor y el gasto energético, va a depender del tipo de combustible oxidado. En general, se propone que el tipo de sustrato utilizado para cubrir el gasto energético afecta la eficiencia en el uso de la energía metabolizable. Se ha demostrado que los équidos recibiendo grasas en sustitución de algunos carbohidratos no estructurales en la dieta muestran una reducción significativa en el requerimiento de energía digestible requerida para mantenimiento del peso y condición corporal.<sup>133</sup>

La composición corporal del caballo afecta la eficiencia de termorregulación. Cuando el caballo es muy magro, puede haber una pérdida excesiva de calor del cuerpo en condiciones frías, lo que incrementa el requerimiento de energía.<sup>117</sup> Así mismo, una proporción excesiva de grasa corporal resulta en incrementos en el requerimiento de energía digestible en caballos trabajando en climas templados o cálidos.<sup>133</sup> Los caballos con un contenido excesivo de grasa requieren más energía para disipar el calor que aquellos con una condición más magra, particularmente en climas templados y cálidos; aunque se puede especular que los caballos en condición excesivamente magra requieren similarmente de una cantidad extra de energía para termorregular en condiciones más frías.<sup>117</sup>

El clima entonces interviene de manera importante y debe tomarse en cuenta que temperaturas extremas significan una demanda extra de nutrientes. Aunque, el rango aceptable se propone de 15 a 30° C, las variaciones por efecto de cambios climáticos no están bien definidas. El gasto energético de mantenimiento es en promedio de un 10 % mayor en verano que en invierno en regiones templadas.<sup>132</sup>

El transporte por tierra incrementa el gasto energético comparado con el de caballos en descanso: 43 contra 19 calorías por kilogramo de peso por minuto.<sup>134</sup>

Es claro entonces que hay otros factores que determinan el requerimiento de mantenimiento del équido, lo que hace necesario contar con ecuaciones de regresión para predecir los efectos de tales factores y refinar las estimaciones del requerimiento real de los equinos mantenidos bajo diferentes condiciones y alimentados con diferentes dietas.<sup>133</sup>

### *Proteína para mantenimiento*

En cuanto a la proteína, los requerimientos están en función de la tasa de reciclaje de proteína en los diferentes tejidos del animal y el balance de proteína muscular, esta última dependiente de la demanda de aminoácidos por el resto de los tejidos y la disponibilidad de aminoácidos en sangre por efecto de la dieta.<sup>125</sup>

El contenido total de proteína en un caballo va del 17 al 19 % del peso corporal. De esto, el 55 % está en los músculos, el 30 % en los tejidos conectivos, del 7 a 8 % en el tracto digestivo e hígado y solo alrededor del 3 % en la sangre. Todas estas proteínas son degradadas o sintetizadas continuamente de acuerdo con los diferentes procesos de reciclaje así como con la localización de tal proteína. El reciclaje de la proteína muscular varía del 1 a 2 % diario lo cual es más lento que el de las proteínas de la pared del tracto digestivo, el hígado, enzimas y hormonas, pero más rápido que el de tejidos conectivos.<sup>125</sup>

Los caballos dependen de la dieta como fuente de aminoácidos esenciales para la síntesis de proteína en los tejidos.<sup>102</sup> El balance de proteína muscular resulta positivo solo durante la fase de absorción de aminoácidos. Fuera de este período los requerimientos de proteína del tracto digestivo, hígado, enzimas y hormonas es mucho mayor y los músculos tienen que proveer de aminoácidos tales como alanina y glicina. Estos dos aminoácidos cuentan para el 30 a 40 % del nitrógeno aportado por los tejidos

periféricos y representan la forma de transportar nitrógeno y carbono desde el músculo hasta el hígado, la pared intestinal y los riñones. La sangre solo cuenta para el 1 % del total de aminoácidos libres, pero la variación en la calidad de la proteína de la dieta se refleja en la variación en proporciones de aminoácidos libres en la sangre.<sup>135</sup>

Los aminoácidos que no son utilizados para síntesis son catabolizados en el hígado y proveen esqueletos de carbono para producir glucosa, ácidos grasos, cuerpos cetónicos o grupos amino para sintetizar urea. Pero la cantidad de aminoácidos catabolizados depende del aporte energético al hígado y del aporte de urea al riñón. El catabolismo incrementa ante desbalances con relación a la absorción de aminoácidos, cuando el consumo de proteína es menor que el requerimiento y si el catabolismo es mayor que la síntesis.<sup>125</sup>

En el nivel de mantenimiento se sintetizan a diario 15 g de proteína por kilogramo de peso metabólico. El caballo sintetiza de tres a cinco veces más proteína que su consumo de aminoácidos y, de acuerdo con lo que se conoce en otras especies, la mayoría de los aminoácidos para síntesis provienen de la misma degradación de proteína corporal.<sup>125</sup>

Los aminoácidos provistos por el catabolismo de aminoácidos y el amoníaco absorbido del tracto digestivo, son utilizados para síntesis de urea en el hígado. La urea se excreta por orina y tracto digestivo donde es hidrolizada a amoníaco que se utiliza para la síntesis de proteína microbiana o se reabsorbe si está en exceso, como sucede con el amoníaco producto de la degradación de proteína por los microbios.<sup>125</sup>

Entonces, existe un ciclo entero-hepático de la urea en el caballo, como en otros herbívoros, que permite al animal tener nitrógeno de reserva y proveer de este elemento a la microflora en el colon cuando el consumo de nitrógeno es bajo.<sup>125</sup> La urea exógena puede ser utilizada por el caballo a través de su ciclo enterohepático, pero menos

eficientemente que los rumiantes; solo del 10 al 30 % del nitrógeno será recuperado. Bajo circunstancias normales el total de amoníaco absorbido se utiliza para la síntesis de urea pero también para la síntesis de aminoácidos no esenciales a través de la ruta de transaminación, siempre y cuando haya esqueletos de carbono disponibles. Razón por la cual los équidos maduros en mantenimiento son menos sensibles a la calidad de la proteína que aquellos con exigencias mayores (crecimiento, ejercicio, lactación, convalecencia, etc).<sup>102, 136</sup>

En el nivel de mantenimiento, las pérdidas estimadas de nitrógeno a través de las distintas vías se estiman de la siguiente manera:

Orina, de 128 a 165 mg por kg de PV0.75

Heces, 3 g por kg de materia seca consumida

Piel, 35 mg por kg de PV0.75

Sudor, 1 g de N por litro

Las pérdidas por sudor incrementan cuando el consumo de nitrógeno dietario excede los requerimientos.<sup>125</sup>

Las pérdidas diarias de nitrógeno fecal son dependientes del consumo de nitrógeno y de materia seca. La ecuación que mejor se ajusta para calcular estas pérdidas es:

$$\text{PDFN (mg kg}^{-1}\text{ PM)} = -234 + 2.56z + 0.2x + 10.4f - 0.08f^2$$

Donde PDFN es la pérdida diaria de nitrógeno fecal en mg por kg de peso metabólico (PM); z es el consumo de materia seca en g por kg de PM; x es el consumo de nitrógeno en mg por kg de PM y f es el porcentaje de fibra cruda en la dieta.<sup>137</sup>

La excreción renal de nitrógeno está en proporción lineal al consumo de nitrógeno:

$$\text{ENR} = 135 + 0.74 \text{CND}$$

Donde ENR es la excreción de nitrógeno renal y CND es el consumo de nitrógeno digestible. Ambos expresados en mg/kg de peso metabólico por día. Las pérdidas endógenas de nitrógeno por vía renal se calculan como de 140 mg/kg de PM.

137

Para una aproximación factorial a los requerimientos de proteína, se deben considerar las pérdidas de nitrógeno por vía cutánea. Dependiendo del crecimiento del pelo y la descamación celular, se calcula que estas pérdidas son de alrededor de 35 mg de N por kg de peso metabólico por día.<sup>137</sup>

La utilización de nitrógeno digestible para reciclaje de nitrógeno bajo condiciones de mantenimiento es de 66 %. Esto significa que el requerimiento mínimo de proteína digestible (PCD) es de  $250/0.66 \times 0.65 = 2.4$  g PCD por kg de peso metabólico. Puesto que tanto la calidad de la proteína, como la proporción de proteína digerida prececalmente varían entre los diferentes alimentos, bajo condiciones prácticas el aporte recomendado de PCD se establece como 3 g/kg de peso metabólico por día.<sup>137</sup>

Con base en el balance de nitrógeno, los requerimientos de mantenimiento se han estimado de 2.8 g de PCD por kg de peso metabólico. Todos los estudios de alimentación, digestión y balance de nitrógeno muestran que la composición de aminoácidos de las dietas comunes para caballos adultos en mantenimiento no es de importancia y que el nitrógeno no proteico puede ser utilizado eficientemente si el aporte de energía fermentable en el intestino grueso es suficiente.<sup>137</sup>

La lisina y la treonina son los aminoácidos más limitantes en equinos. En general, los requerimientos de aminoácidos de caballos adultos en mantenimiento y trabajo se cubren bajo condiciones de alimentación normal. En cuanto a los requerimientos extras, estos deben calcularse por separado y adicionarse al requerimiento de mantenimiento.<sup>138</sup>

## b. Reproducción

Los requerimientos para reproducción corresponden a las necesidades de nutrientes para asegurar la fertilidad, mantener la gestación y sostener el desarrollo fetal.

<sup>11, 71</sup> En cuanto a la fertilidad, los requerimientos están relacionados con el mantenimiento de la condición corporal, pues se ha demostrado que las yeguas que mantienen o aumentan su condición corporal durante la época reproductiva muestran mayores tasas de concepción. Cuando el consumo de energía es de 10-15% por arriba del mantenimiento hay una ganancia de peso que resulta en aumento de la condición corporal. <sup>71</sup>

Contrariamente, en consumos por debajo del requerimiento de mantenimiento las yeguas pierden condición corporal, con detrimento de la eficiencia reproductiva. <sup>77</sup>

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. <sup>77</sup>

Respecto a la gestación, en equinos las elevaciones de las necesidades de energía y proteína son considerables a partir del noveno mes de gestación, pues del 60 al 80 % del desarrollo fetal se da después del día 200 de la gestación; <sup>11, 71, 77, 137</sup> por ello también se da un aumento en los requerimientos de proteína que llega a ser hasta de un 20%, <sup>77</sup> ya que la concentración de proteína en el feto incrementa aproximadamente de 100 a 171 g de proteína cruda por kilogramo de peso. <sup>137</sup>

## c. Lactación

El requerimiento de energía para lactación depende de la composición y cantidad de leche producida, ya que una buena proporción de nutrientes son convertidos en leche.  
11, 71

La energía neta requerida para producción de leche es el producto de la producción y la energía bruta contenida en cada kilogramo de leche. Se ha demostrado que esto está afectado por la etapa de lactación. Sin embargo, estos cambios son relativamente pequeños comparados con el cambio en producción de leche. Las yeguas con más de 300 kg de peso secretan alrededor del 3 % de su peso en leche durante los primeros tres meses de lactación, mientras que en los últimos tres meses secretan el 2 %. Los ponies producen mas leche *pro rata*, aproximadamente 4 % del peso durante la lactancia temprana y 3 % en la tardía.<sup>20, 77</sup>

El NRC (1989) presenta sus cálculos para determinar los requerimientos de ED para producción de leche con base en la suposición de que la leche de yegua contiene 1.987 MJ de EB kg<sup>-1</sup> y que ED es convertida en energía de leche con una eficiencia de 60 %.

El contenido de proteína en la leche es el más alto inmediatamente después del parto y disminuye gradualmente conforme la lactación progresa. La composición de la leche no parece verse afectada por la dieta, pero el nivel de producción depende del consumo.<sup>20</sup>

#### d. Crecimiento

En el caballo creciendo la síntesis de proteína es de dos a tres veces mayor que en el adulto. La síntesis para aumentar la masa corporal demanda un incremento en el reciclaje de nitrógeno, por lo que este proceso es más acelerado en jóvenes que en adultos.<sup>125</sup>

Con atención especial a la proteína, hay dos verdades en équidos en crecimiento:

- La ganancia diaria de peso se incrementa con el contenido de proteína de la dieta pero parcialmente debido al incremento en el consumo de materia seca.
- La calidad de la proteína es de mayor importancia, sobretodo en lo referente a aminoácidos esenciales.<sup>71</sup>

En el équido en crecimiento, los consumos de proteína son el principal factor a considerar. Restringir proteína o energía al caballo en crecimiento, compromete la tasa de crecimiento. El requerimiento de energía por kilogramo de ganancia de peso incrementa con la edad del potro<sup>11, 71</sup> y los requerimientos de proteína se elevan aproximadamente 25, 13 y 7 % en animales de 6-12, 12-18 y 18-24 meses, respectivamente.

La influencia de la calidad de la proteína, o la relación entre las concentraciones de aminoácidos de la dieta y las necesidades de aminoácidos del animal, sobre la tasa de crecimiento han sido demostradas en varios trabajos.<sup>20</sup>

Respecto a los aminoácidos, la lisina es el más limitante en la dieta de los potros en crecimiento y se calcula que su requerimiento es de 2.0 g/Mcal de ED.<sup>71</sup>

Hasta el momento no se ha definido la tasa de crecimiento y consumo de energía óptimos para obtener productividad y longevidad. Lo cierto es que la importancia de determinar y cubrir adecuadamente los requerimientos de crecimiento radica en evitar excesos y desbalances de nutrientes que pueden llevar a problemas en el crecimiento y al desarrollo de condiciones patológicas de tipo ortopédico.<sup>71</sup>

e. Trabajo

En los caballos trabajando los requerimientos de energía resultan principalmente de la utilización de energía libre para la actividad física (contracción muscular, incrementos en el transporte de calcio, actividad cardiaca y muscular).<sup>119</sup>

La estimación de los requerimientos de trabajo es complicada por la variedad de factores que influyen en ellos. Para comenzar, el mismo requerimiento de mantenimiento está aumentado pues en el caballo en entrenamiento se ha demostrado un gasto energético para el rubro de mantenimiento, mayor al del caballo en descanso. Efecto que podría resultar de una estimulación extendida del sistema nervioso simpático.<sup>119</sup>

Cuando un caballo se mueve, su gasto energético excede sus requerimientos de mantenimiento. Este gasto adicional resulta, primero, del trabajo realizado por los músculos esqueléticos y, segundo, del incremento en el trabajo del sistema cardiovascular y respiratorio y otros órganos, así como del incremento en el tono de todos los músculos esqueléticos. Para los équidos trabajando, las recomendaciones se incrementan de un 5 a 15 % de manera que pueda considerarse el aumento en el metabolismo energético global y la importancia de las actividades espontáneas relacionadas al temperamento.<sup>119</sup>

Los requerimientos de energía para trabajo han sido estimados en varias formas pero lo más común es asignar niveles de trabajo como ligero, moderado e intenso. Esta clasificación es práctica en tanto reporta de manera inmediata las elevaciones de los requerimientos de acuerdo con el nivel de actividad; siendo 25% para trabajo ligero, 50% para moderado y 100% para intenso. Sin embargo, la principal limitante de este método es que no siempre se juzga objetivamente el nivel de trabajo.<sup>119</sup>

En el animal trabajando, la energía para sostener la actividad física se obtiene principalmente de reservas corporales; primero glucógeno muscular y lípidos

circulantes, después glucógeno hepático y lípidos del tejido adiposo y en un menor grado de los nutrientes provenientes de la dieta. La energía requerida para cubrir el gasto energético es provista por la movilización y catabolismo de glucógeno, como recurso de glucosa, y triglicéridos como recurso de glicerol y ácidos grasos de cadena larga. Los lípidos de reserva proveen de 36 a 38 veces más energía potencial que el glucógeno de reserva.<sup>119</sup>

En descanso o episodios de ejercicio ligero los principales recursos de energía son los ácidos grasos no esterificados y el acetato, mientras que la glucosa provee solo del 9 al 16 % de la energía dependiendo de la proporción de cereales en la dieta.<sup>119, 124</sup>

Durante episodios de ejercicio corto y moderado a velocidades menores a 300 m por minuto, se incrementa el catabolismo oxidativo de glucosa y ácidos grasos no esterificados (AGNE) plasmáticos, así como de glucógeno y lípidos musculares. La contribución de los lípidos se eleva muy pronto como lo demuestra la reducción en el cociente respiratorio.<sup>119</sup>

Durante el ejercicio prolongado de intensidad moderada predomina aún el catabolismo oxidativo. La contribución de los lípidos al aporte energético se aumenta para alcanzar proporciones de hasta 10 veces más que la contribución del glucógeno, mientras que las concentraciones plasmáticas de lactato y cuerpos cetónicos permanecen bajas. A velocidades por arriba de los 300 a 400 m por minuto para un trote y probablemente más para un galope, correspondiendo al 50 % del VO<sub>2</sub> max, la contribución del glucógeno muscular al aporte de energía predomina y por tanto el contenido de lactato muscular se eleva exponencialmente. Como resultado, los carbohidratos son de mayor importancia en el metabolismo energético del caballo en entrenamiento.<sup>119</sup>

Para el ejercicio de alta intensidad y el ejercicio submáximo a largo plazo se debe tener en cuenta que el consumo de carbohidratos es necesario para resanar las reservas de glucógeno muscular y hepático. La cantidad y tiempo del aporte de carbohidratos son el principal aspecto a considerar para controlar la tasa de abastecimiento de reservas de glucógeno. A partir de estudios con humanos se sabe que la mejor estrategia para un rápido abastecimiento de las reservas de glucógeno sería procurar el consumo de carbohidratos de 6 a 24 horas después del ejercicio a intervalos de dos horas.<sup>139, 140</sup> De manera contraria, el incremento en el contenido de glucógeno muscular ofreciendo proporciones crecientes de almidón antes del ejercicio es de valor limitado en caballos.<sup>119</sup>

Enriquecer las dietas con grasa (7 a 16 %) estimula la actividad de las enzimas involucradas en el catabolismo de lípidos para promover la utilización de reservas de lípidos, como lo ha demostrado el descenso en la concentración de glucosa plasmática y el mejoramiento del desempeño de los caballos de resistencia.<sup>119</sup>

#### f. Otros factores afectando los requerimientos

El efecto del ejercicio sobre el requerimiento de proteína no ha sido determinado con precisión. Se sabe que conforme aumenta el trabajo del caballo, el catabolismo del nitrógeno aumenta también. Durante el trabajo, la síntesis de proteína en los músculos y en el tracto digestivo disminuye pero el catabolismo aumenta. Cuando los aminoácidos son usados para producir energía, el esqueleto de carbono está sujeto a catabolismo oxidativo. Los grupos amino son transportados desde el músculo hasta el hígado donde se utilizan para la producción de aminoácidos no esenciales o son excretados en forma de urea.<sup>125</sup>

Durante el ejercicio, el sudor es la principal ruta de excreción de urea, pues la tasa de excreción renal no se eleva. El sudor contiene de 1-1.5 g de N/kg, por lo que en sesiones de ejercicio prolongado se reportan pérdidas de hasta 5 kg/100 kg de peso corporal.<sup>141</sup> Entonces, el aumento en la producción de sudor, resulta en un incremento en la pérdida de nitrógeno, lo que se traduce en aumento en los requerimientos de tal nutriente. Además, si la densidad energética en la dieta no es suficiente, la pérdida de nitrógeno es aún mayor debido a la movilización de proteína corporal para cubrir demandas energéticas.<sup>125</sup>

En équidos trabajando, las demandas de nitrógeno no solo se aumentan por las pérdidas de nitrógeno, también existe un aumento en los requerimientos debido a la necesidad de incrementar la masa muscular y a la exigencia de aumentar las concentraciones de hemoglobina y enzimas requeridas para el metabolismo.<sup>125</sup>

Sin embargo, los aumentos en aporte de nitrógeno en la dieta no deben ser desmesurados. Varios estudios reportan que dietas con niveles excesivos de proteína son contraproducentes en el desempeño del caballo; resultando en incrementos en sudoración, frecuencia cardíaca y urea plasmática, así como en reducción de la velocidad.<sup>125</sup>

El exceso de proteína puede incrementar el consumo de agua y la concentración de amoníaco sanguíneo al grado de que el flujo de urea hacia el intestino grueso se eleve. Así mismo, la producción de amoníaco por las células musculares aumenta contribuyendo al rubro de amoníaco plasmático. Las concentraciones de amoníaco plasmático por arriba de 10 a 25 mg por litro provocan que el caballo se excite. Finalmente, se ha visto que caballos en ejercicio consumiendo dietas con concentraciones de proteína mayores a 3 g de PC por kg de PV excretan más nitrógeno en el sudor, tienen mayores concentraciones de urea plasmática y muestran elevación en

la excreción de ácido orótico, que aquellos consumiendo dietas con 2 g de PC por kg de PV.<sup>125</sup>

Los requerimientos de aminoácidos todavía no se han definido por completo en caballos en ejercicio. El gasto de nitrógeno incrementa en la medida que incrementa el ejercicio pero, similarmente, la retención de nitrógeno parece elevarse en la medida que el consumo de nitrógeno se eleva también.<sup>125</sup>

Los incrementos en la necesidad de proteína van ligados al incremento en la necesidad de energía, por lo que manteniendo una relación ED:PCD adecuada en la dieta, los aumentos quedarán cubiertos.

#### 4.2.8. Consumo voluntario

Por consumo voluntario se entiende: “la cantidad de materia seca consumida por un animal durante un período de tiempo en el cual tiene acceso libre al alimento.”<sup>109</sup> Entonces, consumo voluntario implica el control ejercido por el animal y no de quien lo maneja.<sup>142</sup>

En condiciones naturales, los équidos seleccionan forrajes con una menor proporción de fibra, lo que facilita su digestión y asegura la extracción de nutrientes. Tal selectividad es consecuencia de sus requerimientos metabólicos y se logra gracias a sus particularidades anatómicas y fisiológicas.<sup>141</sup>

El único principio universal, que es común a casi todas las ideas sobre consumo, es la adaptación del comportamiento ingestivo debido a fuerzas evolutivas. Las diferentes especies han desarrollado estrategias de alimentación para cubrir sus demandas nutricionales por sí mismos y ajustarlas a otras necesidades de supervivencia. Algunos maximizan la calidad del alimento que consumen por medio de una selección cuidadosa, otros consumen grandes cantidades de alimentos de pobre calidad y algunos

otros adoptan un intermedio aproximado a la selección de alimento.<sup>143</sup> Por ejemplo, la mayoría de los burros viven en zonas áridas donde la vegetación es seca, por lo que están adaptados a consumir dietas altas en fibra, caminando largas distancias en busca de alimento.<sup>72, 89, 90</sup>

Algo que intriga a los interesados en consumo voluntario es lo referente a factores que limitan el consumo o bien que determinan en que momento el animal debe comenzar a ingerir y en que momento debe detener la ingestión. En estado natural los équidos están en actividad ingestiva alrededor de 16 horas. El que estos animales ingieran alimento en cantidades discretas de manera continua está determinado por la anatomía y fisiología del équido. A diferencia de los herbívoros rumiantes, contra quienes compitieron por el recurso alimenticio durante su evolución, los équidos tienen que completar la masticación para reducir el alimento a un tamaño de partícula adecuado para la digestión antes de la deglución. Esto hace que el équido tenga que estar cosechando y masticando al mismo tiempo de una manera y esto también permite que el estómago esté recibiendo cantidades discretas de alimento perfectamente mezclado con saliva para mantener una digestión eficiente. La velocidad de tránsito será de este modo la adecuada para permitir la digestión del alimento en las diferentes secciones del tracto y se absorban los nutrientes.<sup>89, 90</sup>

Entonces, a medida que los équidos son más eficientes en la cosecha y procesamiento del alimento, necesitan de un mecanismo que detecte el momento al que ya se ha comido lo suficiente como para detener la actividad ingestiva y prevenir que el aporte de nutrientes se de a una tasa mayor a la que las rutas metabólicas podrían utilizarlos.<sup>89, 90</sup>

El proceso de saciedad parece estar bajo estricto control sensorial preabsorción.

<sup>109</sup> Muchos animales ingieren comidas discretas que terminan antes de que tenga lugar

la absorción de los nutrientes, sugiriendo que el origen de las señales de saciedad es el tracto gastrointestinal.<sup>144</sup> De acuerdo con Emmans,<sup>145</sup> los animales paran de ingerir alimento a un límite metabólico o disconfort físico, lo que aplicado en équidos significaría el punto al cual el animal decide si la calidad del alimento es suficiente para cubrir sus requerimientos, que son el principal conductor del consumo, o si la calidad es tan baja que resulte más conveniente detener el consumo para no incrementar los requerimientos debido al costo extra que le representa la masticación y digestión de tal alimento.<sup>145</sup>

Entre las variables determinantes del consumo de un animal, la talla corporal sobresale como punto de partida. En efecto, la capacidad de consumo está determinada por la talla del animal, sea porque de esta dependen los requerimientos nutricionales o porque la capacidad intestinal es relativa al peso del animal.<sup>146</sup>

Siempre, un animal pequeño comerá menos que uno de mayor tamaño; aunque, proporcionalmente, el pequeño coma más que el grande. El consumo, como una proporción de la talla corporal, declina conforme el animal va creciendo.<sup>146</sup> Debido a estas diferencias, y a fin de comparar la ingestión total de alimento entre animales, el consumo se expresa normalmente en términos relativos al peso; los animales pequeños tendrán requerimientos metabólicos totales más bajos que los animales de talla grande pero requerimientos más altos por unidad de peso vivo. Es por ello que el peso del animal sea la primera variable a conocer para formular dietas para animales, sea para calcular sus requerimientos nutricionales o para estimar su potencial de consumo, manejándole como una variable independiente expresada como peso vivo (PV) o como peso metabólico ( $PV^{0.75}$ ).<sup>147</sup>

Las expresiones de consumo voluntario y requerimientos se dan como proporción del peso vivo o peso metabólico; aunque lo más indicado es estimar los

requerimientos con base en el peso metabólico y la capacidad de consumo con base en el peso vivo.<sup>147</sup>

Se dice que los équidos comen lo exacto para cubrir sus requerimientos de energía<sup>17, 61, 69</sup> y aunque la talla corporal es importante para dar una idea de las adaptaciones de la dieta para los équidos, la asignación de materia seca a ofrecer no necesariamente debe comenzar por calcular la capacidad de consumo con base en alguna proporción del peso vivo. Más bien, la formulación debe iniciar por calcular, con base en el peso del animal, los requerimientos nutricionales considerando su tasa metabólica y nivel de actividad.<sup>19, 118, 148</sup> Haciendo esto, entonces debe cotejarse la cantidad de materia seca calculada para cubrir los requerimientos con el potencial de consumo del animal, para estar seguro de cubrir la necesidad de volumen que los équidos tienen en el tracto gastrointestinal.<sup>148</sup>

### 4.3. Sistemas de Alimentación

De acuerdo con Martin-Rosset y Vermorel,<sup>119</sup> un buen sistema de alimentación es aquel que gracias a su base teórica y a su estructura permite:

- 1) hacer comparaciones precisas del valor nutritivo de los alimentos
- 2) formular raciones balanceadas para alcanzar un objetivo de producción
- 3) pronosticar el desempeño del animal ante cierta cantidad y calidad del alimento

En general, un sistema de alimentación debe ser capaz de distinguir entre dietas e ingredientes y poder así asignar valores a los alimentos de acuerdo con su potencial productivo. Esto implica que el sistema tome en cuenta las necesidades nutricionales del animal para mantener un nivel de producción dado. Cumpliendo con estos dos aspectos, cualquier sistema podrá entonces aplicarse apoyando las decisiones sobre el manejo del animal, tanto desde el punto de vista biológico como desde el económico.<sup>149</sup>

La primera diferencia entre sistemas de alimentación es el nivel al que trabajan para calcular ya sea los requerimientos de energía y proteína de los diferentes tipos de equinos, o el valor nutritivo en términos energéticos y proteicos de los alimentos.<sup>149</sup>

La energía es sin duda el punto de partida común de todos los sistemas de alimentación. Para estimar el rendimiento energético de los alimentos y el requerimiento de energía del animal el sistema tiene que decidir si trabaja con valores o equivalentes en energía digestible, energía metabolizable o energía neta.<sup>149</sup>

En cuanto a la proteína, que es otro punto de divergencia entre los diferentes sistemas, algunos trabajan simplemente en el nivel de proteína cruda, otros consideran digestibilidad trabajando con proteína cruda digestible y otros van más allá al considerar diferencias en digestibilidad de la proteína entre intestino delgado e intestino grueso.<sup>125</sup>

El objetivo de cualquier sistema de alimentación debe ser el de cubrir los requerimientos de los animales para el tipo y nivel de producción, utilizando alimentos

disponibles. Esto último es especialmente importante porque la naturaleza, composición química y valor nutritivo de los alimentos varían con las particularidades climáticas y económicas de cada lugar. Además, la ingestibilidad y palatabilidad del alimento, así como la capacidad de consumo del animal y la tasa de sustitución entre forrajes y concentrados tienen implicaciones sumamente importantes.<sup>125</sup>

#### 4.3.1. Diferencias en el nivel de energía

En la práctica de nutrición hay a menudo dos aspectos vacilantes para aplicación de cualquier sistema:<sup>150</sup>

- 1) el pronóstico del rendimiento energético de los alimentos a partir de análisis químicos o pruebas *in vitro*
- 2) la estimación de los requerimientos de energía del animal como individuo<sup>150</sup>

La evaluación energética del alimento y la determinación de los requerimientos de energía del animal son dos vías distintas para abordar una sola materia. Por un lado, se estudia la transformación de la energía bruta del alimento en la energía utilizada para algún propósito dentro del organismo del animal y, por otro lado, se estudian las cantidades necesarias de energía en sus diferentes formas para mantener las demandas del animal.<sup>150</sup>

La transformación de la energía se da en varios pasos, comenzando con las pérdidas energéticas durante la digestión y terminando con las pérdidas por incremento calórico durante el ejercicio. Dependiendo del sistema de evaluación de energía, estos pasos se deben cubrir, ya sea para la evaluación del rendimiento energético del alimento, o bien para el cálculo de los requerimientos del équido.<sup>150</sup>

Desde el punto de vista evaluación del alimento, el sistema más sencillo trabajaría con energía bruta. Desde el punto de vista requerimientos del animal, la mejor

elección sería trabajar con energía neta o acaso energía metabolizable. Sin embargo para que el sistema trabaje se deben de considerar ambos puntos de vista.<sup>150</sup>

En el caso de energía bruta, tendría que haber muy poca variación en todos los pasos de transformación de la energía con relación a la composición del alimento. No existe sistema de alimentación alguno que trabaje con EB. Tal sistema podría trabajar solo en animales cuya nutrición es altamente especializada, consumiendo una dieta con muy poca variación en digestibilidad, como el néctar que consumen los colibríes.<sup>150</sup>

La proporción de energía perdida en heces es un factor muy variable entre los diferentes alimentos. En equinos hay un gran número de estudios de digestibilidad incluyendo muchos tipos de alimento y esto ha permitido desarrollar sistemas que trabajan con base en las necesidades de energía digestible para mantenimiento y para los diferentes propósitos con resultados aceptables para un amplio rango de alimentos.<sup>150</sup>

Sin embargo, cuanto más se conocen las características de un sistema más interesante resulta refinar sus aproximaciones. Al estudiar la digestibilidad de los alimentos en el tracto digestivo de un equino se notan interacciones entre un ingrediente de la dieta y otro, lo que obliga a establecer límites de aplicación de un sistema aditivo de valores de energía digestible.<sup>151</sup> Además, en las especies que dependen de la fermentación intestinal para cubrir sus requerimientos de energía, la pérdida por gases producto de la fermentación es un punto importante que no suele ser cubierto por un sistema basado en ED. Es por ello que, en un intento de refinar más las aproximaciones de un sistema de evaluación del valor nutritivo de los alimentos y estimación del requerimiento de los animales, algunos sistemas han tratado de trabajar en el nivel de energía metabolizable.<sup>151</sup>

Los resultados de estos trabajos han sido aceptables en algunas especies animales y para ciertos procesos productivos. En equinos, hay tres condicionantes que deben considerarse si se pretende desarrollar o utilizar un sistema de EM:

- 1) conocimiento cuantitativo de pérdidas energéticas por orina
- 2) conocimiento cuantitativo del porcentaje de alimento digerido por fermentación
- 3) conocimiento cuantitativo de la producción de gas durante la fermentación <sup>151</sup>

Por tanto, se requieren datos específicos sobre la producción de gas en el tracto gastrointestinal de los equinos para desarrollar un método eficiente de EM. <sup>150</sup> Además, la fermentación cecocólica en el equino cambia con las cantidades de almidón y proteína que fluyen hacia estas secciones gastrointestinales, <sup>152</sup> por lo que un sistema de EM requeriría límites muy estrechos en cuanto al tipo de ingrediente y ración para la situación en que sería aplicado (incluyendo la definición del tipo de almidón en la ración). <sup>150</sup>

Para un sistema de EN se requiere un conocimiento aún más detallado. La transformación de EM en los diversos tipos de EN para el desempeño del caballo aún no ha sido investigada a fondo. Aún cuando el metabolismo intermediario de todos los mamíferos es bioquímicamente similar en principio, suele haber diferencias entre especies. El caballo es filogenéticamente más antiguo que el rumiante o el cerdo. <sup>61</sup> Por tanto, es prudente considerar que aspectos investigados en otras especies no son viables de extrapolar a caballos. <sup>150</sup> Un sistema que trabaje con energía neta (EN) demanda el conocimiento de cada uno de los pasos de transformación, especialmente el metabolismo intestinal, el cual es específico y no puede extrapolarse de una especie a otra, además de que la cantidad de energía necesaria difiere para los distintos propósitos. Cualquier sistema trabajando con EN es válido solo para un tipo de propósito, tal como lactación, crecimiento, contracción muscular o mantenimiento.

Entonces, teóricamente para un sistema de EN deben conocerse las necesidades específicas para cada uno de los propósitos, comenzando por el mantenimiento. Sin embargo, aunque es interesante y resultaría más exacto trabajar en el nivel de energía metabolizable o neta, al momento no hay datos suficientes en equinos para sustentar sistemas que trabajen más allá de energía digestible.<sup>150</sup>

#### 4.3.2. Diferencias en el nivel de proteína

Los requerimientos de proteína de los caballos se expresan en diferentes niveles de acuerdo con el sistema de alimentación.<sup>102, 125</sup>

El primer nivel de proteína es el de proteína cruda (PC), el cual podría compararse a la energía bruta por ser un valor posible de conocer a partir de un análisis de laboratorio. Es decir, el valor de proteína cruda relata la calidad de un alimento y solo está determinado por las particularidades físico-químicas del mismo, por lo que en ningún momento se afecta por aspectos anatómicos o fisiológicos del equino.<sup>102, 125</sup>

Entonces, desde el punto de vista evaluación del alimento, resulta más sencillo trabajar a nivel de proteína cruda. Sin embargo, puesto que el aspecto más importante de la nutrición proteica en los équidos es el aporte de aminoácidos esenciales, trabajar con proteína cruda resulta acertado siempre y cuando se esté seguro de que la calidad de la fracción nitrogenada del alimento es la mejor, regla que no siempre se cumple.<sup>102, 125</sup>

La calidad de la fracción nitrogenada de los alimentos para caballos no solo está determinada por las proporciones de proteína verdadera y nitrógeno no proteico, sino también por la digestibilidad de la proteína en el tracto gastrointestinal, principalmente intestino delgado, para un rendimiento adecuado de aminoácidos. Por lo que parece más razonable trabajar con proteína cruda digestible.<sup>102, 125</sup>

No obstante, algunos autores sugieren que se debe trabajar a nivel proteína cruda porque establecer el requerimiento en términos de proteína digestible, cuando la digestibilidad se calcula como la diferencia entre consumo y excreción fecal de nitrógeno, no asegura que se cubran los requerimientos de aminoácidos esenciales. La digestibilidad de la proteína y el rendimiento y absorción de aminoácidos dependen enteramente del sitio de digestión; por lo que estimar los requerimientos en términos de proteína digestible exige conocer la proporción de proteína que será digerida en intestino delgado.<sup>102</sup>

En Francia se utiliza un nuevo sistema de evaluación de la proteína que considera la digestión prececal y cecocólica de la proteína. El sistema se basa en el cálculo del requerimiento de PCD para mantenimiento transformándolo a materias nitrogenadas digestibles en el caballo o MADC. Este sistema considera que la digestión de los forrajes difiere dependiendo de su calidad, por lo que el aporte de MADC de los principales grupos de forrajes se estima ajustando el valor de PCD dependiendo del tipo de forraje.<sup>125, 138</sup>

Sin embargo, de la misma manera que para energía neta, aunque parece que lo más preciso es trabajar con un sistema que pronostique la cantidad de proteína que será digerida prececalmente para rendir aminoácidos y la cantidad de ese nitrógeno que será fermentado para rendir amoníaco, a la fecha no hay datos precisos para la mayoría de los alimentos y para la mayoría de las condiciones o estados fisiológicos y de producción de los equinos.<sup>138</sup>

#### 4.3.3. Eligiendo un sistema de alimentación

Son varios los sistemas de alimentación que se han desarrollado para la valoración de los alimentos y la estimación de las necesidades nutricionales del equino.

Como los más importantes destacan:

- El Sistema Americano del NRC
- El Sistema Francés del INRA
- El Sistema Alemán
- El Sistema Holandés
- El Sistema Sueco
- El Sistema Ruso
- El Sistema de Países Escandinavos

Todos ellos han sido desarrollados de acuerdo a las conveniencias y condiciones de cada lugar, por lo que cada uno tiene ventajas y desventajas para su uso fuera de esos límites. Por tanto, el sistema que se pretenda adoptar debe siempre ser evaluado de acuerdo a los objetivos del mismo y las condiciones en las cuales será aplicado.

El sistema NRC, desarrollado en los Estados Unidos a partir del original Sistema TND (total de nutrientes digestibles), trabaja con base en energía digestible (ED) porque considera que a la fecha existen pocos datos para valorar la EM y EN de los diferentes alimentos para los equinos en diferentes niveles de actividad.<sup>20, 149</sup> Este sistema abarca los nutrientes más importantes, tanto desde el punto de vista de la valoración de alimentos, como también de las necesidades del animal. El valor de energía digestible de los alimentos lo da con base en ecuaciones que consideran la composición química y su digestibilidad en equinos, mientras que los requerimientos de energía los asigna en megacalorías por kilogramo de peso. En cuanto a la proteína, los requerimientos los asigna con base en proteína cruda, subrayando la calidad de la proteína para asegurar que su digestión se de mayormente en intestino delgado y haya una buena absorción de carbohidratos.<sup>20</sup>

El sistema del INRA trabaja con EN. Este sistema expresa el valor energético de los alimentos en términos de unidad-alimento para caballo (unité fouragire cheval, UFC); donde una unidad alimento es el contenido de energía para mantenimiento (2.25 MCal) en un kilogramo de cebada. Este sistema considera que trabajar con energía digestible puede sobreestimar el rendimiento energético de alimentos fibrosos. Por tanto, el sistema separa concentrados y forrajes y se basa en la utilización de productos finales, cuantificando el impacto de los costos de energía por masticación, propulsión del alimento a lo largo del intestino y calor de fermentación. Una aproximación muy refinada, pero se requiere generar datos para todos los alimentos y para los diferentes niveles de actividad de los equinos.<sup>20</sup>

En cuanto a la proteína, el INRA ha venido desarrollando un nuevo sistema de evaluación que considera la digestión prececal y cecocólica de la proteína. El sistema se basa en el cálculo del requerimiento de PCD para mantenimiento transformándolo a materias nitrogenadas digestibles en el caballo o MADC. Este sistema considera que la digestión de los forrajes difiere dependiendo de su calidad, por lo que cuenta con factores para ajustar el aporte de MADC de los principales grupos de forrajes.<sup>20</sup>

El sistema alemán trabaja con energía digestible principalmente porque considera que a la fecha no hay datos confiables para trabajar con energía metabolizable o neta. Las aproximaciones para proteína las hacen con base en proteína cruda digestible, calculando el requerimiento del animal con base en el peso metabólico o como gramos de proteína cruda digestible por megacaloría de energía digestible.<sup>20</sup>

Otros sistemas desarrollados incluyen el de Los Países Bajos, trabajando con valores unidad-alimento basadas en la EN para la producción de leche en rumiantes; los sistemas de países escandinavos trabajando en unidades alimento (ScFU) o unidades alimento para engorde (FFU), ambos apoyados en valores de digestibilidad obtenidos a

partir de experimentos con ganado; el sistema sueco, que se apoya valores de energía digestible y más actualmente en valores de energía metabolizable; el sistema ruso, en el que el valor energético de los alimentos se expresa como unidades alimento energéticas (EFU), equivalentes a 2.5 MCal de EM, derivado experimentalmente con caballos.<sup>16, 20</sup>

A pesar de tantos sistemas de alimentación existentes en el mundo, posiblemente el americano, el francés y el alemán, son tres que cuentan con bases más sólidas para el cálculo de los requerimientos de los équidos y el valor nutritivo de los diferentes alimentos.

Al pensar en elegir el sistema más preciso, resulta interesante descubrir que, una vez definiendo el nivel al cual se quiere trabajar con la energía (digestible, metabolizable o neta) y la proteína (cruda o digestible), lo más conveniente no es trabajar con un solo sistema, sino más bien tomar las recomendaciones de cada sistema que ayuden a desarrollar un método que se ajuste a las condiciones del lugar en el cual se pretende trabajar.

Por todo lo anterior, aunque es interesante y resultaría más exacto trabajar en el nivel de energía neta y fracciones nitrogenadas digestibles en el intestino delgado y grueso, al momento no hay datos suficientes en equinos para sustentar sistemas que trabajen más allá de energía y proteína cruda digestible.

En México, lo más conveniente es trabajar en el nivel de energía digestible porque es el sistema que mejor puede adaptarse a la variedad de condiciones (clima, manejo y nivel de trabajo) en que se encuentran los équidos y a las facilidades en cuanto a determinación de las características físico-químicas de los forrajes y concentrados disponibles.

En cuanto a la proteína, aunque el NRC recomienda hacerlo con proteína cruda, lo que parece más conveniente es trabajar a nivel de proteína cruda digestible, pues en

México difícilmente se puede asegurar una proteína de la mejor calidad a los animales ya que existen marcadas diferencias de digestibilidad total entre forrajes (pajas, rastrojos, henos y frescos) y concentrados (granos y alimentos comerciales) disponibles.

Así entonces, definiendo trabajar a nivel de digestibilidad con unidades energéticas (calorías) y proteicas (gramos) por unidad de masa (kg), se puede desarrollar un método adecuado tomando en cuenta recomendaciones de cualquier sistema de alimentación.

#### 4.4. Cálculo de los requerimientos nutricionales de los équidos

##### 4.4.1. Consumo total de materia seca

Los équidos comen para cubrir sus requerimientos metabólicos; sin embargo, también parecen mostrar una necesidad de llenado gastrointestinal.<sup>19</sup>

Aunque el requerimiento de materia seca suele calcularse como una proporción del peso vivo del animal, esta aproximación no es la más indicada pues, de acuerdo con diferentes trabajos, las variaciones en consumo pueden ir desde el 1.5 hasta el 3.0 % del peso vivo dependiendo del tipo y calidad del alimento, así como del tipo de équido, nivel de actividad y estado fisiológico.<sup>17, 19, 69, 89</sup>

**Tabla 15. Diferencias en consumo de acuerdo al tipo de forraje ofrecido en dietas de caballos.**

Tipo de forraje	Consumo (g/kg PV <sup>0.75</sup> )
Heno de alfalfa	122.0
Heno de pasto en edad temprana	115.0
Heno de pasto en edad normal	111.1
Heno de pasto en edad tardía	102.0
Forraje verde	105.0
Pellets de alfalfa	97.9
Heno de pasto bermuda	95.6
Heno de avena	81.2
Alfalfa + paja de avena	79.5
Pajas	61.0
Pajas de cebada	45.0

Fuente: Adaptado de Cuddeford, 2004.<sup>19</sup>

La Tabla 15, muestra las variaciones en el consumo de diferentes forrajes por equinos. Las características físico-químicas del forraje van a determinar la palatabilidad y digestibilidad, lo que al final repercutirá en la cantidad de nutrientes absorbidos.

Los henos y forrajes verdes suelen ser consumidos en mayor proporción que las pajas o rastrojos, como consecuencia de su mejor calidad; esta última estimada con base en el contenido de proteína (PC) y paredes celulares del alimento (FDN y FDA). En

general, conforme la calidad disminuye, el costo de digestión para el animal es mayor y la extracción de nutrientes por kilogramo de materia seca es menor.<sup>153</sup>

En rumiantes, el contenido de fibra detergente neutro (FDN) y su digestibilidad han sido relacionados con el consumo voluntario; sin embargo, tales parámetros no son confiables para predecir el consumo de materia seca en caballos ( $r^2 = 0.266$ ).<sup>154</sup> Aunque hay reportes de el efecto del contenido de proteína cruda y FDN,<sup>117</sup> no es sencillo predecir el consumo en équidos con base en el análisis del forraje, ya que la relación que muestra con el contenido de paredes celulares es pobre,<sup>155</sup> sugiriendo que el consumo no está determinado por el contenido de tales fracciones, a menos que se considere la masticación, disminuyendo el consumo conforme aumenta el contenido de fibra lignificada.<sup>155</sup>

Se propone además, que la velocidad del flujo de la digesta a lo largo del tracto gastrointestinal del équido puede verse reducida, pero nunca limitada, por el tamaño de la partícula como sucede en rumiantes, pues en el tracto gastrointestinal del équido no hay alguna estructura similar al orificio retículo-omasal que controle el paso de las partículas hacia porciones posteriores del tracto. Por tanto, no hay manera de que la digesta sea retenida por alguna razón física normal en el tracto gastrointestinal del équido, lo que descarta la posibilidad de que el llenado intestinal afecte el consumo en los équidos.<sup>19</sup>

Los équidos en vida libre invierten del 50 al 70% del día en alimentarse.<sup>156</sup> Gran parte de este tiempo se invierte en masticación. Cuando el forraje es tosco, el animal tiene que masticar más para reducir las partículas al tamaño necesario para la buena digestión. El incremento en la necesidad de masticación repercute seriamente en el total de materia seca consumida, ya que una mayor proporción del tiempo de ingestión de

alimento se invierte en masticarlo, reduciendo la cantidad consumida por unidad de tiempo.<sup>157</sup>

Se ha propuesto que en caballos, el tamaño y duración de una comida dependen principalmente de estímulos oro-faríngeos y externos, mientras que la frecuencia de comidas está regulada por la presencia y absorción de los productos de la digestión junto con algunas señales metabólicas provenientes de las reservas corporales.<sup>157</sup>

**Tabla 16. Límites de consumo de alimento en caballos.**

<b>Categoría</b>	<b>% del peso vivo*</b>
<b>Adultos</b>	
Mantenimiento	1.5 – 2.0
Yeguas, 9 a 11 meses de gestación	1.5 – 2.0
Yeguas, 1 a 3 meses de lactancia	2.0 – 3.0
Yeguas, 4 meses de lactancia a destete	2.0 – 2.5
<b>En trabajo</b>	
Trabajo ligero	1.5 – 2.5
Trabajo moderado	1.75 – 2.5
Trabajo intenso	2.0 – 3.0
<b>En crecimiento</b>	
Potro 3 meses	2.5 – 3.5
Potro 6 meses	2.0 – 3.5
Potro 12 meses	2.0 – 3.0
Potro 18 meses	2.0 – 2.5
Potro 24 meses	1.75 – 2.5

\* calculado con alimento con un 90 % de humedad  
Fuente: Adaptado de NRC 1989.<sup>77</sup>

Illiis y Gordon,<sup>55</sup> proponen que el peso corporal influye en la habilidad del animal para obtener sus requerimientos de energía. Esta hipótesis, supone que los animales de talla mayor deben tener una capacidad para procesar alimento superior con relación a sus requerimientos. A partir de lo cual se puede proponer que los requerimientos nutricionales en équidos deben calcularse con base en el peso metabólico y el potencial de consumo de materia seca, que depende de la capacidad intestinal, debe relacionarse con peso vivo.<sup>55</sup>

Entonces, la formulación de raciones en équidos debe comenzar por estimar los requerimientos nutricionales y no la capacidad de consumo. La estimación del consumo

de materia seca como porcentaje del peso vivo puede ser útil para establecer límites mínimo y máximo de consumo de materia seca (Tabla 16) y así asegurar que se cubren los requerimientos de llenado o volumen en el tracto digestivo.<sup>71, 72</sup>

#### 4.4.2 Requerimientos de energía digestible

El nutriente más limitante para los équidos es la energía. Esto significa que la formulación de raciones en estas especies debe comenzar por estimar tal rubro.

##### a. Mantenimiento

El NRC (1989)<sup>77</sup> calcula los requerimientos de energía en valores de ED, ya que consideran que hay pocos datos para valores de EM y EN. La ecuación:

$$\mathbf{ED \text{ (MCal día}^{-1}\text{)} = 1.4 + 0.03 PV} \quad \mathbf{(1)}$$

Donde energía digestible (ED) en megacalorías por día es resultado de sumar la constante 1.4 al producto del factor 0.03 multiplicado por el peso vivo (PV), calcula el requerimiento de energía digestible para mantenimiento.

Por ejemplo, en un caballo de 400 kg la estimación se haría:

$$\begin{aligned} \text{ED (MCal día}^{-1}\text{)} &= 1.4 + 0.03 (400) \\ &= 13.4 \text{ MCal día}^{-1}\text{de ED} \end{aligned}$$

El uso de esta ecuación está limitado a animales cuyo peso va de 200 a 600 kg. Por arriba de este peso la ecuación sobreestimaría los requerimientos y por debajo de 200 kilos el resultado sería inferior al real. El NRC no basa los requerimientos de energía en el peso metabólico porque Pagan y Hintz<sup>24</sup> no encontraron beneficio en usar  $PV^{0.75}$  sobre PV en la determinación de requerimientos de ED en caballos cuyo peso varía de 125 a 856 kg.<sup>20</sup>

Respecto a los animales mayores a 600 kg, Potter *et al.*<sup>158</sup> indican que debido a la menor tasa metabólica y nivel de actividad en estos animales, el requerimiento calculado de ED se reduce en 5, 10 y 15 % al tratarse se animales de 700, 800 y 900 kg respectivamente.

El NRC (1989)<sup>77</sup> presenta una ecuación para animales mayores a 600 kg en la que:

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

Por lo que el requerimiento calculado de ED para un caballo de 900 kilos sería:

$$\begin{aligned} \text{ED (MCal día}^{-1}\text{)} &= 1.82 + 0.0383 (900) - 0.000015 (900^2) \\ &= 1.82 + 34.47 - 12.15 \\ &= 24.14 \text{ MCal día}^{-1}\text{de ED} \end{aligned}$$

Valor inferior al 28.4 MCal día<sup>-1</sup> de ED que resultaría de utilizar la ecuación (1).

El sistema INRA por su parte, se basa en revisión de varios trabajos<sup>119, 159</sup> y concluye que los requerimientos de energía digestible para mantenimiento equivalen a:

$$\mathbf{ED \text{ (KJ día}^{-1}\text{)} = 586 \text{ PV}^{0.75} \quad (3)}$$

Donde la energía digestible en kilojoules (KJ) por día equivale a multiplicar el factor 586 por el peso vivo elevado a la potencia 0.75 (peso metabólico). Para estimar los requerimientos de ED en megacalorías, la ecuación se adapta de la siguiente manera:

$$\mathbf{ED \text{ (MCal día}^{-1}\text{)} = (586 \text{ PV}^{0.75} / 4.185) / 1000 \quad (4)}$$

Así entonces, la ecuación 4 puede utilizarse con animales de cualquier talla y resuelve los problemas que pudieran surgir con la falta de una ecuación del NRC para estimar requerimientos de ED para animales inferiores a 200 kilos.

La Tabla 17, muestra una comparación entre las estimaciones de las ecuaciones (1), (2) y (4) para animales de 180, 420 y 860 kilos.

**Tabla 17. 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
<b>Requerimiento de ED (Mcal día<sup>-1</sup>)</b>	(1)	-----	14.00	-----
	(2)	-----	-----	22.4
	(4)	6.88	12.99	23.6

Fuente: Cuddeford, 1999.<sup>20</sup>

En el animal de 180 Kg la única ecuación aplicable es la (4) y el estimado es de 6.88 MCal por día (MCal día<sup>-1</sup>). En el animal de 420 Kg es posible utilizar las ecuaciones (1) y (4) resultando en estimados de 14.00 y 12.99 MCal día<sup>-1</sup> respectivamente, los cuales no difieren significativamente. Por último, en el animal de 860 Kg son aplicables las ecuaciones (2) y (4) con una ligera diferencia entre un cálculo y otro.

Entonces, las ecuaciones (1) y (4) pueden ser utilizadas para estimar requerimientos de energía para mantenimiento en animales de 200 a 600 kilogramos sin que el resultado entre una y otra difiera considerablemente. Por debajo de 200 kg solo es aplicable la ecuación (4), mientras que por arriba de 600 se deberán de utilizar la ecuación (2) propuesta por NRC o la (4) que corresponde a la de INRA, sin esperar diferencias significativas.

### ***Ajustes por tasa metabólica***

Puesto que aún entre caballos de la misma talla, la tasa metabólica difiere dependiendo de su genotipo y función zootécnica, Vermorel *et al.*<sup>159</sup> sugieren utilizar factores para el ajuste de los requerimientos de mantenimiento, dependiendo del tipo de caballo y las diferencias en tasa metabólica basal (Tabla 18).

El factor para cada caso debe multiplicarse por lo obtenido al calcular el requerimiento de mantenimiento con alguna de las fórmulas anteriores. Para el caso de

los caballos de trabajo criollos de México, se recomienda utilizar los factores que aparecen en la columna intermedia de la tabla (silla).

**Tabla 18. Factores de ajuste de requerimientos de mantenimiento dependiendo del tipo y nivel de actividad del caballo.**

Nivel de actividad	Tipo de caballo		
	Pesados	Silla	Pura sangre
En reposo	1.00	1.05	1.10
En trabajo	1.05	1.10	1.15
Garañón en reposo	1.10	1.15	1.20
Garañón trabajando	1.20-1.30	1.25-1.35	1.30-1.40

Fuente: Adaptado de Vermorel et al. 1984.<sup>159</sup>

Por ejemplo, en el caso de un caballo criollo, garañón, trabajando con 400 kilogramos de peso vivo, el requerimiento de ED para mantenimiento se calcularía:

$$\begin{aligned}
 \text{ED (MCal día}^{-1}\text{)} &= 1.4 + (0.03 * 400) \\
 &= 1.4 + 12.0 \\
 &= 13.4 \text{ MCal}
 \end{aligned}$$

Ajuste de acuerdo con el factor:

$$\begin{aligned}
 \text{ED} &= 13.4 * 1.25 \\
 \text{ED} &= 16.75 \text{ MCal día}^{-1}
 \end{aligned}$$

#### b. Trabajo

Todo requerimiento extra debe calcularse por separado y sumarse a los requerimientos de mantenimiento.

#### *Ejercicio*

El NRC <sup>77</sup> menciona que los caballos en ejercicio intenso consumen por encima de dos veces su requerimiento de ED para mantenimiento, aunque esta aproximación puede resultar en cálculos erróneos si no se juzga correctamente el nivel de trabajo.

El ejercicio afecta el gasto energético pero tiene poco efecto sobre otros nutrientes, con la excepción del agua y la sal que se alteran debido a pérdidas por transpiración. <sup>160</sup>

**Tabla 19. Requerimientos de energía para ejercicio en caballos.**

<b>Actividad</b>	<b>Kcal de ED h<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup> PV</b>
Caminando	0.5
Trote lento y episodios de medio galope	5.0
Trote rápido, medio galope y episodios de salto	12.0
Medio galope, galope, salto	23.0
Ejercicio intenso (polo, carreras, etc.)	39.0

Fuente NRC, 1989. <sup>77</sup>

La Tabla 19, presenta los factores a utilizar para estimar el requerimiento de energía digestible de acuerdo con el tipo de ejercicio del caballo. El factor está expresado como requerimiento en kilocalorías (Kcal) por hora de trabajo (h<sup>-1</sup>) por kilogramo de peso vivo (PV<sup>-1</sup>). El producto de este cálculo debe sumarse al requerimiento de mantenimiento. <sup>20</sup>

Por ejemplo:

Un caballo de 500 kg que camina tres horas diarias requerirá:

Mantenimiento (ecuación 4): ED = 14.80 MCal

Requerimiento de energía por caminar (0.5 kcal. x 3 h x 500 kg) = 750 kcal

Lo cual da un requerimiento total de **15.55 MCal de ED por día.**

***Trabajo de campo***

Con base en trabajos de Brody <sup>161</sup>, el NRC <sup>80</sup> sugiere incrementar los requerimientos de energía digestible para mantenimiento en un 10% por cada hora de arado. La influencia del ejercicio en los requerimientos nutricionales de los caballos es dependiente incluso de la intensidad del trabajo, la duración y el tamaño del caballo.

Estudios recientes desarrollados en rumiantes (bueyes, búfalos) o équidos (caballos y burros), han estimado los requerimientos de energía para trabajo con base en las diferentes actividades; tomando en cuenta aspectos importantes como peso de la carga, distancia, tipo de trabajo (tiro o carga) y condiciones del terreno (plano o pendiente). <sup>162</sup>

La cantidad de energía extra que se emplea en un día de trabajo depende de:

- la fuerza de tiro generada
- la superficie sobre la cual se desempeña el trabajo
- la distancia recorrida

De este modo:

Trabajo realizado (cal) = fuerza de tiro (N) x distancia (m)

Poder resultante (W) = trabajo realizado (cal) / tiempo (s) <sup>162</sup>

La energía empleada de los animales trabajando en el campo no puede ser determinada directamente, pero la cantidad y tipo de trabajo pueden y estos junto con el peso vivo del animal dan un estimado del gasto energético. La información necesaria para hacer estas estimaciones puede ser descrita como se muestra en la (Tabla 20).

Como ya se ha mencionado, todo requerimiento extra se calculará por separado y se sumará a mantenimiento. En las diferentes actividades que realiza un équido, hay un gasto energético específico, estos deben ser sumados uno a uno hasta completar el requerimiento total por actividad realizada y finalmente sumarla al requerimiento de mantenimiento.

**Tabla 20. Energía empleada en el gasto para desempeñar un trabajo.**

<b>Energía extra empleada para trabajo (E) =</b>	
Energía empleada para caminar	+
Energía empleada para llevar carga	+
Energía empleada para jalar carga	+
Energía usada para caminar en pendiente	

Fuente: Pearson, 1994. <sup>162</sup>

Una manera cuantitativa de expresar esta aproximación sería:

$$E = AFM + BFL + W/C + 9.81H (M+L)/D$$

Donde:

E = energía extra usada para trabajo (kcal)

F = distancia recorrida (km)

M = peso vivo (kg)

L = carga llevada (kg)

W = trabajo empleado jalando la carga (kcal)

H = distancia recorrida ascendiendo verticalmente

A = energía empleada para mover 1 kg de peso vivo 1 m horizontalmente (cal)

B = energía empleada para mover 1 kg aplicando carga 1 m horizontalmente (cal)

C = eficiencia para hacer trabajo mecánico (proporción de trabajo mecánico realizado y energía empleada)

D = eficiencia de incremento de peso vivo o aplicación de carga (proporción de trabajo realizado en contra de la gravedad para la utilización de energía) <sup>162</sup>

Las desventajas a considerar y que pueden resultar en alteraciones son:

- Las condiciones climáticas imperantes

- Los costos de energía por caminar, que contribuyen por alrededor de 50% del total de los costos de energía. Costos influenciados también por la naturaleza e inclinación de la superficie en la cual se desempeña el trabajo. <sup>162</sup>

La Tabla 21, muestra factores para calcular el gasto energético por caminar en diferentes superficies, tomando en cuenta el grado de hundimiento del pie del animal en los distintos tipos de suelo. De acuerdo con Pearson (comunicación personal), esta tabla fue diseñada para rumiantes, pero puede ser utilizada confiablemente en los équidos. <sup>162</sup>

**Tabla 21. Costo energético por caminar en diferentes superficies de suelo para ganado.**

<b>Tipo de superficie</b>	<b>Hundimiento de miembros</b>	<b>Costo energético por caminar (cal / m / kg PV)</b>
Suelo plano	Nulo	0.358
Tierra arada seca, suelos arenosos y caminos de terracería	Hasta la corona del casco	0.598
Tierra arada húmeda y terrenos barrosos	Más de la mitad de la cuartilla	1.196
Arena suelta, profunda	Hasta el menudillo	1.435
Terrenos anegados	Por arriba del menudillo y hasta la rodilla	1.913

Fuente: Pearson, 1994. <sup>162</sup>

El requerimiento de energía neta puede calcularse si se conoce el trabajo realizado. La energía neta es utilizada para trabajo con una eficiencia mecánica de 30%. Esta se ve afectada levemente por factores externos como tipo de trabajo, condiciones del suelo y temperatura ambiental. En la mayoría de los casos, es posible hacer estimaciones de la fuerza de tiro promedio si se conoce el tipo de implemento o carreta. Para el caso de barbecho o arado de suelo, es conveniente contar con información de cultivos previos, tipo de superficie y, consecuentemente, el grado de hundimiento. El total del trabajo realizado será estimado multiplicando el promedio de la fuerza de tiro por la distancia recorrida. <sup>162</sup>

El requerimiento de energía neta para carga es considerada como 0.717 cal / m viajados en una superficie plana / kg de carga. La densidad de la carga tiene poco efecto en los costos de energía, siempre y cuando haya una distribución y balance adecuados de la carga. El requerimiento de EN puede llevarse a ED dividiendo EN/0.70 para obtener EM y entonces entre EM/0.87 para obtener requerimiento de ED. <sup>162</sup>

#### *Energía para caminar en una pendiente cuesta arriba*

La aplicación de la fuerza a la carga en pendiente cuesta arriba se hace con la misma eficiencia mecánica que el trabajo para jalar en superficie plana. El trabajo realizado será:

$$\text{Trabajo realizado (cal)} = (M + L) \times 9.81 H$$

Donde:

M = peso vivo (kg)

L = carga aplicada (kg)

H = distancia viajada verticalmente (m)

9.81 = aceleración debido a la gravedad ( $\text{m.s}^{-2}$ )

La energía neta caminando en una pendiente hacia arriba es de este modo simplemente el trabajo realizado x 3.3. Los costos de energía de los movimientos verticales y horizontales podrían considerarse por separado y añadirse al final. <sup>162</sup>

#### *Energía para caminar en una pendiente cuesta abajo.*



$$\text{EN para escalar} = ((400 + 100) \times 1000 \times 0.789 \times 9.81) / 10^6 \quad 30.96 \text{ Mcal.}$$

$$\text{Total} \quad 32.82 \text{ Mcal.}$$

$$\text{Energía neta total usada para trabajo} = 32.82 \text{ Mcal.} + 4.86 \text{ Mcal.} / 0.30 =$$

$$37.68 \text{ Mcal. EN}$$

$$\text{Energía digestible usada para el trabajo} = 37.68 / 0.70 / 0.87 =$$

$$\mathbf{61.87 \text{ MCal día}^{-1} \text{ de ED.}}$$

Donde 0.70 equivale a la eficiencia de utilización de EM para trabajo.

Donde 0.87 equivale a la eficiencia de uso de ED como EM.

Requerimiento total de energía diaria:

$$61.87 \text{ MCal día}^{-1} \text{ de ED para trabajo}$$

$$\underline{+ 12.52 \text{ MCal día}^{-1} \text{ de ED para mantenimiento}}$$

$$\mathbf{= 74.39 \text{ MCal día}^{-1} \text{ de ED total diaria}}$$

#### c. Gestación

Los requerimientos de energía de yeguas en gestación cambian a partir del noveno mes. El NRC presenta los siguientes factores de ajuste de acuerdo con el mes de gestación.

$$9^{\circ} \text{ mes:} \quad \text{Mantenimiento} * 1.11$$

$$10^{\circ} \text{ mes:} \quad \text{Mantenimiento} * 1.13$$

$$11^{\circ} \text{ mes:} \quad \text{Mantenimiento} * 1.20$$

El INRA recomienda valores muy similares a los sugeridos por NRC.<sup>20</sup>

#### d. Lactación

El requerimiento de energía se eleva durante la lactación pero decrece conforme esta avanza. El NRC presenta cuatro ecuaciones para calcular el requerimiento extra de energía de yeguas lactando, de acuerdo con su peso y etapa de lactación (Tabla 23).

**Tabla 23. Ecuaciones para estimar el requerimiento extra de ED en yeguas lactando.**

<b>Peso</b>	<b>Etapa de lactación</b>	<b>Ecuación</b>
< 300 kg	1er a 3er mes	ED = 0.04PV * 0.792
	4° a 6° mes	ED = 0.03PV * 0.792
> 300 kg	1er a 3er mes	ED = 0.03PV * 0.792
	4° a 6° mes	ED = 0.02PV * 0.792

Fuente: NRC 1989.<sup>77</sup>

El requerimiento se estima como megacalorías de energía digestible y se tiene que sumar al requerimiento calculado de mantenimiento para el animal en cuestión.<sup>77</sup>

#### e. Crecimiento

Los requerimientos de energía para crecimiento están directamente relacionados al contenido de energía de la ganancia, la cual incrementa conforme aumenta la edad del animal, reflejando las proporciones cambiantes de tejidos. Además, una ganancia de peso acelerada suele asociarse con una mayor cantidad de energía depositada por unidad de ganancia. El NRC (1989)<sup>77</sup> estima el requerimiento de ED por kg de ganancia como:

$$\text{MCal ED kg}^{-1} \text{ GPV} = (4.81 + 1.17X - 0.023X^2) \text{ GDPP}$$

Donde X es la edad en meses, y GDPP es la ganancia diaria de peso promedio.

#### 4.4.3. Requerimientos de proteína digestible

#### a. Mantenimiento

El NRC, 1989.<sup>77</sup> sugiere calcular el requerimiento de proteína cruda para mantenimiento con base en el requerimiento de energía digestible, proponiendo un factor de 40 g de PC por MCal de ED. Tomando en cuenta la suposición de que al menos 46 % de la proteína es digestible, significaría entonces que 18.4 g de proteína estarían disponibles al animal; aspecto que no está asegurado porque en México, la mayoría de los équidos de trabajo consumen rastrojos, pajas o henos con un alto contenido de fibra lignificada, lo que limita la digestibilidad de la proteína. Por ello, es recomendable trabajar con base en requerimientos de proteína cruda digestible (PCD) y así considerar las diferencias de disponibilidad de proteína entre alimentos.

El NRC estima entonces que el requerimientos de proteína cruda digestible de un equino equivale a 2.8 g de PCD por kilogramo de peso metabólico. Lo que sería equivale a 19.19 g por megacaloría de energía digestible.<sup>20</sup>

El sistema Alemán estima que los requerimientos de proteína cruda digestible para mantenimiento y trabajo son de de 3 g de PCD por kilogramo de PM o 5 g de PCD por MJ de ED, lo que equivale a 20.93 g de PCD por MCal de ED. Sistema que es también utilizado en Holanda.<sup>138</sup>

En Francia se utiliza un nuevo sistema de evaluación de la proteína que considera la digestión prececal y cecocólica de la proteína. El sistema trabaja con base en el cálculo del requerimiento de PCD para mantenimiento, estimado en 2.4 g de PCD por kg de PM. Pero puesto que en forrajes la digestión difiere dependiendo de su calidad, el aporte de MADC de los principales grupos de forrajes se estima multiplicando el valor de PCD por los factores: 0.9 para forrajes verdes, 0.85 para henos y 1.0 para concentrados.<sup>125</sup>

---

#### **Tabla 24. Requerimiento de proteína cruda digestible de mantenimiento en equinos.**

---

PCD = 2.8 g <sup>-1</sup> de PV <sup>0.75</sup>	NRC
PCD = 2.4 g <sup>-1</sup> de PV <sup>0.75</sup>	INRA
PCD = 3.0 g <sup>-1</sup> de PV <sup>0.75</sup>	Sistema Alemán

Fuente: Cuddeford, 1999.<sup>20</sup>

La Tabla 24, muestra los factores para calcular el requerimiento diario de proteína cruda digestible para mantenimiento con base peso metabólico, lo que en un rango de peso vivo de 50 a 1200 kilogramos promediaría a 19.19 ( $\pm$  1.10) g PCD por MCal de ED; valor aproximado al 18.4 g calculado a partir del requerimiento de 40 g de PC con 46 % de digestibilidad.<sup>20</sup> Entonces, el requerimiento de PCD para mantenimiento se calcula como:

**2.8 g de PC por Kg de PV<sup>0.75</sup>, o como**

**19.19 g de PCD por MCal de ED**

En cuanto al balance de aminoácidos, tanto el INRA como el NRC sugieren que este no es de importancia significativa en caballos en mantenimiento.<sup>20</sup>

#### b. Trabajo

Ni el NRC ni el INRA estipulan elevaciones especiales en la relación proteína:energía digestible cuando se trata de trabajo. Se supone que conforme aumente el requerimiento calculado de ED, la proteína se elevará de manera proporcional; por tanto, el factor 19.19 g de PCD por MCal de ED se mantendrá para animales en trabajo.

<sup>20</sup>

Por otra parte, es razonable esperar que los caballos sujetos a entrenamiento en cualquiera que sea su actividad zootécnica, tendrán una retención de nitrógeno elevada debido a la hipertrofia muscular.<sup>20</sup> Se propone que el ofrecer dietas altas en proteína a caballos que desarrollan trabajo pesado no es muy recomendable debido a las características termogénicas y acidogénicas de la proteína.<sup>60</sup>

### c. Gestación

De acuerdo con el NRC y el INRA, las demandas de proteína en la yegua gestante se dan durante los meses nueve, diez y once que es cuando se da el mayor crecimiento del feto. Con base en lo presentado por ambos sistemas, se recomienda que para ajustar los requerimientos de proteína cruda digestible se adicionen al requerimiento calculado de mantenimiento 1.23, 1.45 y 1.68 gramos de PCD por kilogramo de peso metabólico de la yegua para el noveno, décimo y onceavo mes de gestación, respectivamente.<sup>20</sup>

### d. Lactación

El sistema INRA utiliza una eficiencia de 0.55 para la conversión de PCD a proteína de leche, por lo que Martin-Rosset *et al.* 1994,<sup>25</sup> deducen que los g de PCD requeridos por kilogramo de leche producida 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 el mes 4

Entonces, lo recomendable es calcular el requerimiento extra de PCD por kilogramo de leche producida y sumarlo al requerimiento calculado de PCD para mantenimiento. Para los meses cinco y seis de lactación se puede usar el factor propuesto para el cuarto mes.<sup>20</sup>

### e. Crecimiento

Con base en el cálculo de requerimientos de proteína cruda digestible para mantenimiento y la sugerencia que hace el NRC respecto a que las necesidades de proteína se aumentan en 25, 12.5 y 6.75 % para animales de 6 a 12 meses, de 12 a 18 meses y de 18 a 24 meses, respectivamente, se proponen las siguientes aproximaciones para calcular el requerimiento de proteína cruda digestible para animales en crecimiento:<sup>20</sup>

06 a 12 meses:	23.98 g de PCD por MCal de ED
12 a 18 meses:	21.58 g de PCD por MCal de ED
18 a 24 meses:	20.48 g de PCD por MCal de ED

#### 4.4.4. Requerimientos de fibra

Anteriormente a la fibra solo se le veía como una entidad cuyo único fin era cubrir requerimientos de llenado intestinal y mantener la salud a digestiva. Los requerimientos de fibra se consideraban como proporción de forraje en la dieta y se calculaban como porcentaje del peso vivo, fijando un mínimo de inclusión de forraje.<sup>163</sup>

Con las técnicas de laboratorio actuales se conoce que los forrajes contienen una porción soluble, medida como la fracción contenidos celulares, y una porción insoluble, medida como paredes celulares (FDN y FDA).<sup>11</sup>

Estas últimas son el verdadero recurso de fibra en la dieta del équido y de hecho existen ciertos parámetros relacionados con el mínimo de FDN o FDA que debe consumir un équido dependiendo de su estado fisiológico o nivel de actividad.<sup>163</sup>

La Tabla 25 muestra los diferentes valores de FDN y FDA los cuales representan un mínimo y un máximo de valor de fibra que debe contener un forraje. Los valores de FDA por debajo de 30% sugieren una mayor digestibilidad, conforme estos valores aumentan la digestibilidad disminuye y por consiguiente la energía disponible del

alimento es menor, si el forraje contiene proporciones de FDA mayores a 40% se considera de mala calidad.

**Tabla 25. Requerimientos de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) para équidos.**

<b>Actividad</b>	<b>FDN %</b>	<b>FDA %</b>
Mantenimiento	50 – 65	37- 40
Garañón	50 – 65	37 – 40
Trabajo	40 – 60	30 – 37
Gestantes	40 – 60	30 – 37
En crecimiento	40 – 50	30 – 35

Fuente: Adaptado de equine extention, guide for buying hay, Colorado State University.<sup>163</sup>

Puesto que el contenido de FDN se relaciona con paredes celulares, se sugiere una relación con el consumo, con un aumento en el consumo total de materia seca conforme disminuye la proporción de fibra detergente neutro en el forraje.

#### 4.4.5. Requerimientos de agua

El agua es quizá el nutrimento más esencial, ya que sin ella la vida no se prolongaría más de unos días. Es necesario un suministro de agua limpia y fresca para cubrir las pérdidas por respiración, orina, heces, sudor y otras, como la leche.<sup>71</sup>

Los équidos obtienen agua para cubrir sus requerimientos corporales ya sea de manera directa al ingerirla como tal, o de manera indirecta a partir del contenido de agua en el alimento y del agua metabólica producida en el cuerpo.<sup>164</sup>

El contenido de agua en el organismo varía con la edad, el agua constituye del 75 al 80% del animal recién nacido, mientras que en animal adulto el agua representa del 50 al 60 % del peso vivo y se distribuye en el líquido intracelular (alrededor del 60 % del agua total) y el líquido intersticial, con un siete a ocho por ciento formando el agua plasmática.

Los compartimentos líquidos del organismo del équido son especialmente importantes porque ahí se da el balance electrolítico y el equilibrio ácido-base. La ganancia o pérdida de agua o electrolitos desplaza este equilibrio y puede traducirse en cambios temporales del tamaño de los compartimentos líquidos.<sup>71</sup>

Recientes estudios indican que el ofrecer sal en el alimento no afecta el consumo de agua y no hay una mayor producción de orina. En consumos elevados de proteína y minerales, hay un mayor contenido de agua en heces.<sup>165</sup>

Por otro lado cuando a los équidos se les expone a un trabajo de alta intensidad, la pérdida de sudor puede ser de hasta 5 litros por día; pérdida que deben compensar con aumento en el consumo de agua y reducción en la excreción por orina.<sup>153</sup>

Al tratar con requerimientos de agua de un équido suele entrarse en consideraciones que conducen a cálculos imprecisos. No existe en sí una ecuación o aproximación que resulte útil en la determinación precisa del requerimiento de agua de un équido. Aunque se sugiere que el consumo de agua suele estar relacionado con el contenido de materia seca (3.52 litros por kilogramo consumido). El consumo del agua no solo está relacionado con el consumo de MS, sino también puede haber una relación con el consumo de FDN.<sup>165</sup>

El tipo de alimento es un factor que va a determinar el consumo de agua. Por ejemplo, en équidos consumiendo dietas altas en forraje la necesidad de agua fue 33% mayor que cuando consumieron una mezcla de forraje y grano; incluso la materia seca ingerida fue solo de un 10% más para el forraje. Esto hace suponer que las dietas altas en forraje pueden ser usadas para estimular el consumo de agua.<sup>153</sup> Además, los caballos alimentados con henos de leguminosas producen un mayor volumen en orina en respuesta a la necesidad de eliminar la mayor cantidad de minerales de estos forrajes.

<sup>165</sup> Cuando la dieta incluye una alta cantidad de polisacáridos hidrófilos, como la

hemicelulosa, la retención de agua en el lumen intestinal es mayor, lo que a su vez afecta la velocidad de tránsito de la digesta y se refleja en el alto contenido de agua de las heces.<sup>90</sup>

La Tabla 26, muestra las diferencias en consumo de agua en dos tipos de clima. El consumo de agua difiere entre condiciones climáticas siendo menor el consumo en clima frío en comparación con aquel en clima cálido. Así mismo, el consumo de agua es aún mayor cuando se incrementa el nivel de actividad.

**Tabla 26. Consumo promedio de agua para équidos.**

Consumo de agua	En reposo y en clima frío 4 litros / 100 kg de PV <sup>-1</sup> Ejercicio intenso en un clima cálido 10 – 15 litros / 100 kg PV <sup>-1</sup>
-----------------	--

Fuente: Kohnke, 1989<sup>71</sup>

La Tabla 27, muestra los factores que influyen en la pérdida y por tanto en los requerimientos de agua en los caballos. La composición de la dieta es determinante del consumo de agua, ya que a mayor cantidad de materia seca, mayor será el consumo de agua. Tal es el caso de animales que consumen forrajes secos y granos, pues al comparar el consumo de agua entre animales consumiendo heno y aquellos consumiendo dietas mixtas, hay una diferencia notable. Además, el contenido de electrolitos en la dieta y agua de bebida, es también determinante de la cantidad de agua ingerida.<sup>164</sup>

**Tabla 27. Factores que influyen en los requerimientos y pérdida de agua en los équidos.**

<b>Factores influyentes</b>	<b>Requerimientos y pérdida de agua.</b>
Influencia del alimento	3.6 L / kg de alimento, cuando ofrecen heno seco. 2.9 L / kg de alimento, cuando ofrecen combinaciones de heno y grano.
Temperatura ambiental	En condiciones de frío (10°C o menos) y en reposo, 2 L / kg de alimento seco. Condiciones de calor 35°C más de 8 L / kg de alimento seco
Ejercicio	Los équidos trabajando consumen 20 – 30% mas agua que cuando están en reposo.

Fuente: Kohnke 1989,<sup>71</sup> Georgievshii 1980.<sup>166</sup>

Por supuesto, la temperatura ambiental influye de manera importante en el consumo de agua. Conforme la temperatura es más alta, mayor es el consumo de agua; lo que aunado al tipo de alimento seco, resultará en necesidades de agua muy elevadas. Aspecto que se tornará aún más grave si el nivel de actividad o trabajo del caballo es alto.

En general, el aspecto más real y necesario es asegurarse de que el animal disponga de agua en cantidad y calidad adecuada en todo momento.<sup>165</sup>

#### 4.4.6. Requerimientos de minerales

Se ha demostrado que los minerales son esenciales para el organismo. Aunque algunos se requieren en cantidades mínimas, la pérdida constante de minerales por orina, sudor y materias fecales debe equilibrarse con un aporte de cantidades equivalentes.<sup>11</sup>

##### a. Mantenimiento y trabajo

El NRC 1989,<sup>77</sup> ha desarrollado algunas formulas para pronosticar los requerimientos de algunos macroelementos de importancia para los équidos. Este tipo de minerales como Ca, P, Mg, y K no siempre son deficientes pero a menudo causan desbalances con consecuencias importantes en el animal.

**Tabla 28. Requerimientos de Ca, P, Mg, K, lisina y Vit. A en equinos.**

		Mantenimiento	Trabajo
Lisina	(g)	0.035	-----
Calcio	(g)	0.04 P.V.	(1.22) (Mcal de ED <sup>-1</sup> )
Fósforo	(g)	0.028 P.V.	(0.87) (Mcal de ED <sup>-1</sup> )
Magnesio	(g)	0.015 P.V.	(0.46) (Mcal de ED <sup>-1</sup> )
Potasio	(g)	0.05 P.V.	(1.52) (Mcal <sup>-1</sup> )
Vitamina A	(UI)	30 P.V.	-----

Fuente: NRC 1989.<sup>80</sup>

La Tabla 28, muestra las aproximaciones a utilizar para estimar los requerimientos de Ca, P, Mg y K para equinos. Los requerimientos de mantenimiento se calculan con base en el peso vivo, mientras que los requerimientos de caballos trabajando se calculan con base en los requerimientos de energía. El NRC 1989 <sup>77</sup> especifica que para garañones los cálculos de mantenimiento deben de hacerse con las siguientes aproximaciones:

Ca	=	1.22 g / Mcal ED
P	=	0.87 g / Mcal de ED
Mg	=	0.46 g / Mcal de ED
K	=	1.52 (Mcal de ED)

Otra fuente sugiere que para mantener el balance electrolítico en caballos trabajando, las asignaciones de Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup> deben ser de 1.3, 4.5 y 3.1 gramos por megacaloría de energía digestible, respectivamente. <sup>167</sup>

Por ejemplo:

Un caballo de 480 kg

(480)(0.04) para Ca =	19.2 g
(480)(0.028) para P =	13.44 g
(480)(0.015) para Mg =	7.2 g
(480)(0.05) para K =	24 g
(480)(30) para Vit. A =	14,400 UI

La Tabla 29 muestra otra manera de estimar requerimientos de minerales. Las necesidades se calculan con base en la cantidad de alimento ofrecido, haciendo recomendaciones en gramos y miligramos por kilogramo de alimento, considerando nivel de actividad y cantidad de alimento consumido por cada 100 kg de PV del animal.

Los requerimientos de animales, especialmente electrolitos van ligados al nivel de actividad no solo por las necesidades de energía, sino también por las de agua. Las pérdidas de agua durante el ejercicio pueden ser considerables y con ello las de electrolitos. Por ejemplo un caballo que pierde 20 litros de sudor, pierde alrededor de 20 g de electrolitos. La deshidratación de este animal se corrige por medio del agua de bebida, pero esta deshidratación se corregirá más rápido si se aportan los electrolitos perdidos.<sup>67</sup>

**Tabla 29. Recomendaciones de minerales para los requerimientos de caballos por kg diario de alimento (como alimento -10% de humedad).**

	Promedio de * alimento	Ca g/kg	P g/kg	Mg g/kg	Na g/kg	K g/kg	Mn Zn Mg/kg	Fe mg/kg	Cu g/kg	Co mg/kg	I mg/kg	Se Mg/kg
A	1.75	2.1	1.5	0.8	1.0	2.7	36	36	10	0.1	0.1	0.1
B	2.0	3.2	1.9	1.0	3	3.4	36	36	10	0.1	0.1	0.1
C	2.25	3.5	2.2	1.1	3	3.6	36	40	10	0.1	0.1	0.1
D	2.75	3.6	2.3	1.2	3	3.9	36	44	10	0.1	0.1	0.1

A= mantenimiento, B= trabajo ligero, C= trabajo moderado, D= trabajo intenso

\* Promedio diario de alimento ingerido kg / 100kg de peso vivo con 10% de humedad

Fuente NRC 1989,<sup>77</sup>

Los fluidos y electrolitos corporales deben considerarse de manera conjunta, pues ambos deben de estar en equilibrio para mantener los procesos fisiológicos y bioquímicos que aseguran la vida. Este equilibrio involucra un balance externo que se mantiene con las entradas y salidas y un balance interno que comprende el balance entre los principales compartimentos líquidos y el balance a nivel celular.<sup>67</sup>

#### b. Gestación

El NRC 1989,<sup>77</sup> presenta las siguientes ecuaciones para el cálculo de calcio, fósforo, magnesio y potasio de yeguas en el tercer tercio de gestación:

$$\text{Ca} = 1.90 \text{ g / Mcal ED}$$

$$P = 1.41 \text{ g / Mcal ED}$$

$$Mg = 0.48 \text{ g / Mcal ED}$$

$$K = 1.60 \text{ g / Mcal ED}$$

### c. Lactación

Lo mismo que para energía y proteína, el NRC <sup>77</sup> considera la etapa de lactación y la producción de leche de acuerdo con la talla de la yegua y presenta las siguientes ecuaciones para calcular requerimientos de Ca (Tabla 30), P (Tabla 31), Mg (Tabla 32) y K (Tabla 33):

**Tabla 30. Ecuaciones para estimar el requerimiento extra de Ca en yeguas lactando.**

Peso	Etapa de lactación	Ecuación
< 300 kg	1er a 3er mes	$Ca = (0.04 \text{ PV} \times 1.2)/0.5$
	4° a 6° mes	$Ca = (0.03 \text{ PV} \times 1.2)/0.5$
> 300 kg	1er a 3er mes	$Ca = (0.03 \text{ PV} \times 0.8)/0.5$
	4° a 6° mes	$Ca = (0.02 \text{ PV} \times 0.8)/0.5$

Fuente: NRC 1989. <sup>77</sup>

**Tabla 31. Ecuaciones para estimar el requerimiento de P de yeguas lactando.**

Peso	Etapa de lactación	Ecuación
< 300 kg	1er a 3er mes	$P = \frac{0.010 \text{ PV} + (0.04 \text{ PV} \times 0.75)}{0.45}$
	4° a 6° mes	$P = \frac{0.010 \text{ PV} + (0.03 \text{ PV} \times 0.75)}{0.45}$
> 300 kg	1er a 3er mes	$P = \frac{0.010 \text{ PV} + (0.03 \text{ PV} \times 0.50)}{0.45}$
	4° a 6° mes	$P = \frac{0.010 \text{ PV} + (0.02 \text{ PV} \times 0.50)}{0.45}$

Fuente: NRC 1989. <sup>77</sup>

**Tabla 32. Ecuaciones para estimar el requerimiento extra de Mg en yeguas lactando.**

Peso	Etapa de	Ecuación
------	----------	----------

<b>lactación</b>		
< 300 kg	1er a 3er mes	$Mg = (0.04 PV \times 0.09)/0.4$
	4° a 6° mes	$Mg = (0.03 PV \times 0.09)/0.4$
> 300 kg	1er a 3er mes	$Mg = (0.03 PV \times 0.045)/0.4$
	4° a 6° mes	$Mg = (0.02 PV \times 0.045)/0.4$

Fuente: NRC 1989.<sup>77</sup>

**Tabla 33. Ecuaciones para estimar el requerimiento extra de K en yeguas lactando.**

<b>Peso</b>	<b>Etapas de lactación</b>	<b>Ecuación</b>
< 300 kg	1er a 3er mes	$K = (0.04 PV \times 0.07)/0.5$
	4° a 6° mes	$K = (0.03 PV \times 0.07)/0.5$
> 300 kg	1er a 3er mes	$K = (0.03 PV \times 0.04)/0.5$
	4° a 6° mes	$K = (0.02 PV \times 0.04)/0.5$

Fuente: NRC 1989.<sup>77</sup>

#### d. Crecimiento

El NRC 1989,<sup>77</sup> presenta ecuaciones para calcular los requerimientos de calcio, fósforo, magnesio y sodio de caballos en crecimiento sin trabajar y trabajando.

##### Sin trabajar

$$\begin{aligned} Ca &= 0.04 PV + 32 GDP \\ P &= 0.022 PV + 17.8 GDP \\ Mg &= 0.015 PV + 1.25 GDP \\ K &= 0.05 PV + 3.00 GDP \end{aligned}$$

##### Trabajando

$$\begin{aligned} Ca &= \frac{\text{Ca req por animales no trabajando}}{\text{ED req por animales no trabajando}} \times \text{ED requerida para entrenar} \\ P &= \frac{\text{P req por animales no trabajando}}{\text{ED req por animales no trabajando}} \times \text{ED requerida para entrenar} \\ Mg &= \frac{\text{Mg req por animales no trabajando}}{\text{ED req por animales no trabajando}} \times \text{ED requerida para entrenar} \end{aligned}$$

$$K = \frac{K \text{ req por animales no trabajando}}{ED \text{ requerida para entrenar}} \times ED \text{ requerida para entrenar}$$

#### 4.4.7. Requerimientos de vitaminas

Los requerimientos de vitaminas para los équidos son muy pequeños a comparación de los minerales. Las verdaderas deficiencias ocurren en dietas formuladas con alimentos de mala calidad como en el caso de las pajas y rastrojos.<sup>71</sup>

**Tabla 34. Recomendación de vitaminas para los requerimientos de caballos por kg diario de alimento (como alimento – 10% de humedad).**

	Promedio de Alimento*	Vit. A UI/kg	Vit. D UI/kg	Vit. E UI/kg	Vit. B1	Vit. B2 mg/kg	Vit.** B6 mg/kg	Ac. ** Panto-ténico	Vit.** B12 $\mu$ g/kg	Ac.** Fólico mg/kg
A	1.75	1800	270	4.5	2.7	1.8	4	5	-	0.5
B	2.0	1800	270	72	4.5	1.8	4	5	5	0.5
C	2.25	1800	270	72	4.5	1.8	5	5	5	0.5
D	2.75	1800	270	72	4.5	1.8	6	10	5	1.5

A= mantenimiento, B= trabajo ligero, C= trabajo moderado, D= trabajo intenso

\* Promedio diario de alimento ingerido kg / 100kg de peso vivo

\*\* El NRC (1989) no estima el contenido para estas vitaminas, no evidencia la complementación con Niacina (vit. B3), vitamina K o vitamina C en la dieta de caballos. Fuente: NRC 1989.<sup>77</sup>

En la Tabla 34 se presentan aproximaciones para estimar los requerimientos de vitaminas. La cantidad promedio de alimento ofrecido se presenta como kg/100 kg de PV. Las recomendaciones de vitaminas se dan en unidades internacionales, miligramos y microgramos por kilogramo de materia seca de alimento.

## 4.5. Alimentos comunes en équidos y sus particularidades físicas y químicas

### 4.5.1. Forrajes

El término forraje se ha descrito de distintos modos y, de hecho, hay mucha variación en cuanto a la generalidad de alimentos que pueden ser referidos con este término.<sup>55</sup> De acuerdo con Wilkins,<sup>168</sup> como forraje se nombra a toda fracción comestible de un vegetal, otra que no sea el grano, que puede ser fuente directa de alimento para animales en pastoreo o ser cosechada para, posteriormente, ofrecerla como parte de la dieta de animales en confinamiento.

**Tabla 35. Clasificación de los principales forrajes utilizados en la alimentación de équidos en México.**

	Tipo y descripción	Especies vegetales
<b>Forrajes</b>	Frescos (forrajes cortados y ofrecidos verdes)	Pastos Otras gramíneas Leguminosas
	Henos (forrajes cortados en verde y deshidratados al sol y aire)	Pastos Otras gramíneas Leguminosas
	Pajas y rastrojos (tallos y hojas de la planta que quedan después de que ha sido cosechado el grano)	Principalmente gramíneas

Fuente: Adaptado de Hernández Gil 2002.<sup>55</sup>

Los forrajes utilizados en la alimentación de herbívoros domésticos se agrupan en dos categorías principales: leguminosas y gramíneas. La característica común a todos estos alimentos es su alto contenido de paredes celulares y su importancia estriba en que son un ingrediente imprescindible en la alimentación y nutrición de los équidos.<sup>96, 168,</sup>  
<sup>169</sup> De hecho, en muchos casos, constituye el cien por ciento de la dieta.

La Tabla 35, muestra una clasificación sencilla de los forrajes comúnmente utilizados en la alimentación de équidos en México. Dentro de estos forrajes se encuentra una amplia variedad de gramíneas y leguminosas que pueden ser ofrecidas en

sistemas extensivos de pastoreo o bien pueden integrar dietas de équidos confinados al ser ofrecidas en verde o como heno, paja o, muy rara vez, como ensilaje.<sup>55</sup>

#### 4.5.2 Concentrados

Una definición sencilla de concentrado describe al alimento que al ser ofrecido en pequeñas cantidades proporciona una alta cantidad de energía y proteína al animal.

En équidos, los concentrados deben ser de origen estrictamente vegetal e incluyen granos como el maíz, la cebada y la avena, así como concentrados comerciales formulados a base de los mismos granos adicionados con pastas de oleaginosas, melaza, aceites vegetales, harinas vegetales, vitaminas y premezclas minerales.<sup>71</sup>

Los concentrados comerciales para la alimentación de équidos suelen estar disponibles en forma:

- texturizada: el alimento se combina con sustancias que mejoran la palatabilidad
- peletizada: las materias primas se muelen finamente y se aglutinan para formar comprimidos
- extrudizada: la materia se somete a un proceso de precocción a temperaturas de 120 a 140 °C

Todas estas formas resultan de procesos físico-químicos artificiales y tienen como finalidad facilitar el consumo, estabilizar la naturaleza de los ingredientes, asegurar una mayor digestibilidad y prevenir condiciones patológicas de origen nutricional.<sup>170, 171</sup>

Los llamados concentrados completos, los cuales son una mezcla de henos, pulpas, vitaminas y minerales, se utilizan con el fin de proveer una ración sin heno. Sin embargo, estos alimentos no suelen cubrir el requerimiento mínimo de fibra del équido, por lo que su uso debe recomendarse solo como complemento de la dieta.<sup>170, 171</sup>

Es sabido el efecto adverso que resulta de la alimentación de caballos con dietas formuladas con altas proporciones de concentrado. En el mejor de los casos el animal estará obeso y su desempeño estará comprometido; en el peor de los casos, resultarán enfermedades metabólicas y digestivas que comprometen la vida del animal.<sup>170, 171</sup>

#### 4.5.3. Evaluación física de los alimentos para équidos

La parte física del análisis de los alimentos involucra aspectos de carácter físico y sensorial que el mismo evaluador debe estandarizar de acuerdo a su experiencia y criterio.

**Tabla 36. Criterios para la evaluación física de los forrajes para la alimentación de équidos.**

<b>Tipo de planta</b>	Las leguminosas suelen tener un mayor valor nutricional que las gramíneas. Algunas especies de gramíneas son mejor que otras.
<b>Edad al corte</b>	El corte a una edad adecuada asegura el máximo contenido proteico, mineral y vitamínico, además de mayor digestibilidad.
<b>Proporción de hoja presente.</b>	Las hojas tienen un valor nutricional más alto de modo que una proporción hoja-tallo elevada, sugiere una mayor calidad.
<b>Color</b>	Aunque no es esencial, un color verde generalmente indica una mejor calidad, sobretodo en lo que toca a la concentración de nutrientes; además de que la palatabilidad esta asegurada.
<b>Olor</b>	Un forraje de alta calidad normalmente tiene un olor agradable. Los olores a moho, humedad, putrefacción y fermentación deben de rechazarse.
<b>Características de los tallos</b>	Tallos largos y leñosos reducen la calidad y palatabilidad; un forraje de buena calidad posee tallos delgados y suaves. Una buena práctica es apretar los tallos con la mano, si este lastima, lastimará la boca del caballo. También es útil evaluar la resistencia del tallo al partirlo manualmente: a mayor resistencia menor calidad.
<b>Material extraño</b>	El forraje debe de estar libre de materiales como alambres, piedras, tierra, cuerdas, vidrios, maderas, y otros objetos raros.

Fuente: Hernandez-Gil 2002,<sup>55</sup> Siegal 1996.<sup>169</sup>

En forrajes, la evaluación física se apoya más en aspectos de tipo visual, táctil y olfativo, así como en datos como tipo de planta, edad al corte, proporción hoja:tallo, entre otros que deben averiguarse para formar una reseña del forraje y prevenir características físico-químicas que afectan el valor nutricio del mismo. La Tabla 36,

muestra los aspectos a considerar en la evaluación física del forraje destinado para la alimentación de équidos.

En el caso de los granos y concentrados comerciales, el análisis físico se apoya principalmente en aspectos de tipo visual y olfativo. De la misma manera que en forrajes, deben averiguarse algunos datos sobre la procedencia del concentrado para prevenir problemas o bien, relacionar su procedencia con su posible calidad nutricional.

170, 171

La Tabla 37 muestra aspectos a considerar para la evaluación física de concentrados para alimentar équidos. El tipo es importante en cuanto a que son diferentes los granos utilizados en México para la alimentación de équidos; entre ellos están el maíz, la cebada y la avena. Por lo que toca al tipo de concentrado comercial, es importante saber si se trata de un alimento energético a base de carbohidratos o grasas, o bien, de un alimento proteínico.

**Tabla 37. Criterios para la evaluación física de concentrados para la alimentación de équidos.**

<b>Tipo</b>	En granos, conocer su especie. En concentrado comercial, conocer su clasificación dentro de la marca (energético, proteínico, etc.).
<b>Procedencia</b>	En granos, averiguar las características del lugar donde ha sido cultivado y si ha sufrido por efectos ambientales adversos. En concentrado comercial, conocer marca y lugar de producción.
<b>Almacenaje</b>	Conocer los métodos de almacenaje, las características del espacio de almacén y el tiempo que lleva almacenado.
<b>Visual</b>	En granos, examinar integridad, limpieza y pureza. En concentrado comercial, principalmente estructura y limpieza.
<b>Olfativo</b>	En los granos no debe detectarse olor alguno. Los concentrados comerciales suelen tener un olor agradable y dependerá de los ingredientes incluidos en su fórmula. En ningún caso deberán detectarse olores que se relacionen con fermentación, rancidez, putrefacción o presencia de moho.

La procedencia, por su parte, es un factor a considerar pues las características geográficas del lugar donde creció la planta van a influir en la calidad del grano. Si se

trata de un concentrado, conocer la marca y el lugar de producción es importante pues las marcas conocidas garantizan la calidad del producto.<sup>172</sup>

El almacenaje es un aspecto de importancia porque un grano o alimento comercial pueden ser cosechados o envasados en las mejores condiciones, pero si el método de almacenaje, el lugar de almacén y el tiempo de almacenado no son los indicados, la calidad seguramente va a estar comprometida.<sup>170, 171</sup>

El análisis visual del grano involucra examinar su integridad en cuanto a que no se encuentre picado, lo que sugiera la presencia de organismos biológicos indeseables, o que se encuentre partido o desprovisto de alguna de sus estructuras, como la cascarilla por ejemplo. La limpieza del grano se refiere a que esté libre de tierra, hongos o cualquier otro material extraño, sea orgánico o inorgánico; mientras que la pureza indica en que proporción la especie de grano en cuestión está mezclado con otro.<sup>170, 171</sup>

En concentrados comerciales, el análisis visual implica examinar la limpieza de la misma manera que en los granos. Sin embargo, una opción más a considerar es la forma en la que se presenta; es decir, si se trata de un alimento en polvo, peletizado, extrudizado o mezcla de pellets con granos. Ante todo, en este tipo de alimentos, debe procurarse la ausencia de concreciones formadas por exceso de humedad.<sup>170, 171</sup>

Los olores en los granos y concentrados comerciales generalmente son admisibles para el ser humano. En cuanto se detecten olores característicos de fermentación, rancidez, putrefacción o moho, la calidad debe ponerse en duda.<sup>170, 171</sup>

#### 4.5.4. Evaluación química de los alimentos para équidos

La evaluación de las características químicas del alimento se conduce esencialmente con la finalidad de obtener información más objetiva sobre su calidad general. Así mismo, es útil en la determinación de propiedades particulares o contenido

de nutrientes específicos en los casos que se requiera. Los datos analíticos deben proporcionar información útil en el pronóstico del valor nutricional del alimento.<sup>172</sup>

a. Químico Proximal (AQP) y Paredes Celulares (Van Soest)

En un análisis químico, los datos de interés son el contenido de materia seca, de proteína cruda, de materia orgánica y de fibra. Para esto se cuenta con el llamado análisis químico proximal (AQP); un método que reporta la proporción de ciertas fracciones químicas del alimento que se relacionan con el contenido de nutrientes del mismo. Las fracciones que se reportan en el AQP son:<sup>11</sup>

- **humedad:** para estimar, por diferencia, el porcentaje de materia seca.
- **cenizas:** para estimar, por diferencia, el contenido de materia orgánica.
- **proteína cruda:** para estimar la fracción nitrogenada del alimento.
- **extracto etéreo:** relacionado con el contenido de lípidos, ácidos orgánicos, alcohol y pigmentos.
- **fibra cruda:** asociada con la proporción de la muestra que corresponde a la fracción fibrosa.
- **ELN:** el extracto libre de nitrógeno (ELN) es un dato que se obtiene cuando al 100 % se le resta la sumatoria de los porcentajes de humedad, cenizas, proteína cruda, extracto etéreo y fibra cruda.

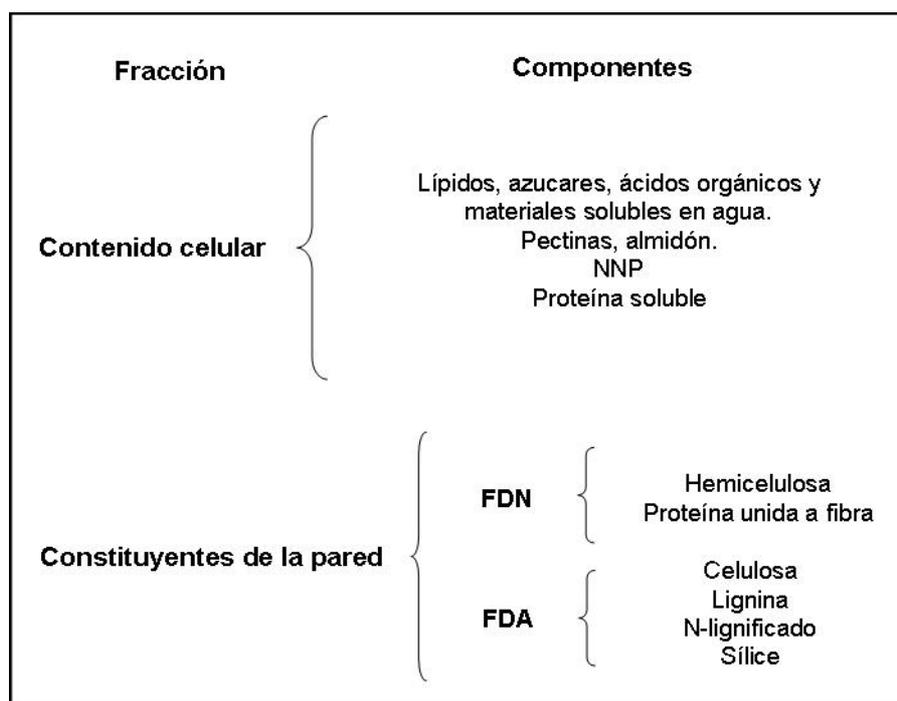
Aunque el AQP (Figura 6), se ha utilizado por décadas para la evaluación de los alimentos, debe considerarse que el método tiene algunas imperfecciones, principalmente en lo que respecta a la determinación del contenido de proteína cruda y fibra cruda.

	<b>Fracción</b>	<b>Nutrientes</b>
<b>Químico proximal</b>	Humedad	Agua
	Cenizas	Minerales
	Proteína cruda	Contenido de N 6.25
	Extracto etéreo	Lípidos, ácidos orgánicos, alcohol y pigmentos
	Fibra cruda	Fracción fibrosa
	Extracto libre de nitrógeno	Azúcares, fructanos, almidón, pectinas

**Figura 6. Fracción y nutriente de un Análisis Químico Proximal.**

En cuanto a la proteína cruda (PC), el error estriba en que la técnica supone que todo el nitrógeno contenido en la muestra esta en forma de proteína, lo cual no es totalmente cierto,<sup>11</sup> pues, como ya se ha mencionado, la fracción nitrogenada de la dieta está integrada por la proteína verdadera y el nitrógeno no proteico (NNP). De manera que los alimentos ricos en NNP serán sobreestimados en cuanto a contenido de PC, lo cual puede resultar en confusiones importantes en nutrición de équidos, ya que en estas especies la utilización de NNP se da en las porciones más posteriores del tracto (ciego y colon) donde efectivamente hay producción de proteína microbiana pero no está del todo demostrado que esta contribuya a cubrir las necesidades de aminoácidos del équido, ya que no hay una franca absorción de aminoácidos en esta porción del tracto. No obstante, mientras se desarrollan métodos más certeros para la estimación del contenido de proteína alimenticia, el NRC<sup>77</sup> recomienda el uso del valor de proteína cruda, siempre y cuando se descarte la posibilidad de que el alimento evaluado tenga cantidades considerables de NNP.

Por lo que toca al concepto fibra cruda (Figura 7), se propone que este valor representa el total de los componentes estructurales: hemicelulosa, celulosa y lignina. Sin embargo, la estimación tiene dos limitantes: primero, su imprecisión en medir la proporción total de fibra, pues algo de las citadas moléculas se pierde en el ELN; <sup>11</sup> y segundo, su incapacidad para distinguir proporciones de hemicelulosa, celulosa y lignina.



**Figura 7. Fracciones de un análisis de fibra.** Troncoso 2001. <sup>172</sup>

Por lo anterior el investigador norteamericano Peter Van Soest desarrolló una técnica que permite estimar con exactitud las proporciones de los distintos componentes de la fracción fibrosa de los alimentos, particularmente de los forrajes. Este análisis se conoce como “análisis de las paredes celulares” o “análisis de Van Soest” y se describe en el capítulo de conceptos nutricionales del presente trabajo. <sup>172</sup>

Lo que es pertinente tratar a este punto con respecto a dicha técnica para análisis de fibra, es lo referente a la diferenciación que permite hacer de las proporciones de los componentes de la fibra y sus implicaciones en la calidad del alimento. Como ya se ha

mencionado, las fracciones que resultan del análisis de la fibra por la técnica de Van Soest son la fibra detergente neutro (FDN), que involucra hemicelulosa, celulosa y lignina; y la fibra detergente ácido (FDA), que involucra celulosa y lignina.

La utilidad de diferenciar tales fracciones es real en cuanto es posible pronosticar ciertos parámetros de importancia nutricional. En algunos trabajos se ha reportado una correlación entre el contenido de FDN y el potencial de consumo; así como entre el contenido de FDA y la digestibilidad del forraje.<sup>172</sup>

De manera general, cuanto menor es la proporción de FDN, debe esperarse un mayor consumo de forraje y viceversa. La digestibilidad del forraje depende de la concentración de lignina que este contenga. La lignina es indigestible y está contenida en la fracción clasificada como FDA. Por tanto, el hecho de que la digestibilidad disminuya conforme aumenta la proporción de FDA en el análisis del forraje, se debe al mayor contenido de lignina o fracción indigestible en el forraje.<sup>172</sup>

La composición de los forrajes varía en función de la especie vegetal, edad y estado fenológico, así como del método de cosecha, procesamiento y almacenamiento.

La Tabla 38, muestra la composición de algunos forrajes que suelen ser ofrecidos en estado fresco o verde como fuente de nutrientes para équidos.

En cuanto al contenido de humedad, es evidente que los forrajes frescos tienen una menor cantidad de materia seca (25 % promedio), sin que haya diferencias destacables entre una especie y otra. La principal implicación nutricional del contenido de humedad de los forrajes es que a mayor contenido de humedad se debe esperar un menor consumo de materia seca, y por tanto de nutrientes, por bocado.

**Tabla 38. Parámetros químicos de importancia nutricional en los forrajes frescos de uso más común para la alimentación de équidos.**

	MS	Fracciones como porcentaje de materia seca
--	----	--

	(%)	PC	FDN	FDA	EE	CEN
<b>Leguminosas</b>						
Alfalfa	26	19	45	32	2.7	8.0
Trébol blanco	19	23	40	25	4.2	11.0
Trébol rojo	18	24	44	33	4.0	9.0
Trébol ladino	19	25	38	23	4.8	11.0
<b>Pastos</b>						
Bermuda	30	4	22	11	1.1	2.4
Kikuyo	18	3	70	34	0.7	2.0
Orchard	24	3	50	29	5.0	11.0
Bahía	29	4	21	10	0.5	3.2

MS, material seca; PC, proteína cruda; FDN, fibra detergente neutro; FDA, fibra detergente ácido; EE, extracto etéreo; CEN, cenizas.

Fuente: McDonald 2002,<sup>11</sup> Kohnke 1989,<sup>71</sup> Elias Bandala, 1988,<sup>78</sup> Richardson, 1997,<sup>99</sup> Queensland Government 2006,<sup>98</sup> Pennsylvania S.U. 1992,<sup>173</sup> Illinois U.E. 2005,<sup>174</sup> Maine U.E. 2003,<sup>175</sup> The Samuel Roberts Noble Foundation 2006,<sup>176</sup> Connecticut S.U. 2006,<sup>177</sup> Georgia S.U. 2003,<sup>178</sup> Fermat 2005,<sup>179</sup> Horsehage 2005.<sup>180</sup>

Es evidente la mayor calidad de las leguminosas sobre las gramíneas desde el punto de vista proteínico. Sin embargo, esto no es igual de contundente en cuanto al contenido de fibra se refiere. Aunque las gramíneas tienen un mayor contenido de fibra detergente neutro, las leguminosas contienen una mayor proporción de fibra lignificada como lo demuestran los valores de FDA. Esto significa que mientras las leguminosas tienen una mayor proporción de contenidos celulares, como se deduce a partir de sus valores de FDN; las gramíneas tienen una mayor proporción de fibra fácilmente digestible o hemicelulosa, como lo demuestran los valores de FDA.

La Tabla 39, muestran la composición de algunos forrajes y otras gramíneas que suelen ser ofrecidos en estado henificado como fuente de nutrientes para équidos.

En cuanto al contenido de humedad, un forraje henificado tiene una menor cantidad de agua que el mismo en estado fresco (12 % vs. 75 %, respectivamente); sin embargo, el punto en el cual coinciden es en la calidad. De manera general, el contenido de nutrientes de un forraje henificado es la misma que tenía en estado verde al momento del corte. Por tanto, el mayor valor nutritivo que resulta en animales alimentados con un

heno, se debe principalmente a que el consumo de materia seca por bocado se aumenta y con ello se incrementa la captación de nutrientes de calidad y fácil digestibilidad.

**Tabla 39. Parámetros químicos de importancia nutricional en los forrajes henificados de uso más común para la alimentación de équidos.**

	MS (%)	Fracciones como porcentaje de materia seca				
		PC	FDN	FDA	EE	CEN
<b>Leguminosas</b>						
Alfalfa madura	88	13	59	45	1.3	8
Trébol ladino	90	21	36	32	2.0	9
Trébol rojo	88	15	57	42	2.5	8
Trébol alsike	88	12	-	-	2.6	8
<b>Pastos</b>						
Bermuda	91	9	77	38	1.9	8
Bahía	91	8	72	41	2.1	6
Orchard	88	11	68	41	3.3	7
Ryegrass	92	11	69	40	3.3	8
<b>Otras gramíneas</b>						
Avena	90	10	63	39	2.1	9
Cebada	90	9	65	37	2.1	8
Trigo	90	10	65	36	2.0	7

MS, material seca; PC, proteína cruda; FDN, fibra detergente neutro; FDA, fibra detergente ácido; EE, extracto etéreo; CEN, cenizas.

Fuente: McDonald 2002,<sup>11</sup> Kohnke 1989,<sup>71</sup> Elias Bandala, 1988,<sup>78</sup> Richardson, 1997,<sup>99</sup> Queensland Government 2006,<sup>98</sup> Pennsylvania S.U. 1992,<sup>173</sup> Illinois U.E. 2005,<sup>174</sup> Maine U.E. 2003,<sup>175</sup> The Samuel Roberts Noble Foundation 2006,<sup>176</sup> Connecticut S.U. 2006,<sup>177</sup> Georgia S.U. 2003,<sup>178</sup> Fermat 2005,<sup>179</sup> Horsehage 2005.<sup>180</sup>

Al igual que en los forrajes frescos, las leguminosas henificadas tienen una mayor calidad desde el punto de vista proteínico; sin embargo, estas diferencias no son amplias como al tratarse de forrajes frescos.

En cuanto al contenido de fibra, la tendencia se mantiene similar a lo que sucede con forrajes frescos: las gramíneas tienen un mayor contenido de fibra detergente neutro y las leguminosas tienen una mayor proporción de su fracción fibrosa como lignocelulosa (FDA). Por lo tanto, tal como sucede en los forrajes frescos, las gramíneas henificadas contienen una mayor proporción de fibra fácilmente digestible.

La Tabla 40, muestra la composición de algunas pajas y rastrojos que suelen ser ofrecidas como fuente de fibra en dietas para équidos.

**Tabla 40. Parámetros químicos de importancia nutricional en las pajas y rastrojos de uso más común para la alimentación de équidos.**

Forraje	MS (%)	Fracciones como porcentaje de materia seca				
		PC	FDN	FDA	EE	CEN
<b>Rastrojo de maíz</b>	86	3	76	58	3.2	2
<b>Paja de avena</b>	90	4	70	48	2.3	8
<b>Paja de cebada</b>	90	4	80	55	1.9	7
<b>Paja de trigo</b>	91	3	80	57	1.5	8

MS, material seca; PC, proteína cruda; FDN, fibra detergente neutro; FDA, fibra detergente ácido; EE, extracto etéreo; CEN, cenizas.

Fuente: McDonald 2002, <sup>11</sup> Kohnke 1989, <sup>71</sup> Elias Bandala, 1988, <sup>78</sup> Richardson, 1997, <sup>99</sup> Queensland Government 2006, <sup>98</sup> Pennsylvania S.U. 1992, <sup>173</sup> Illinois U.E. 2005, <sup>174</sup> Maine U.E. 2003, <sup>175</sup> The Samuel Roberts Noble Foundation 2006, <sup>176</sup> Connecticut S.U. 2006, <sup>177</sup> Georgia S.U. 2003, <sup>178</sup> Fermat 2005, <sup>179</sup> Horsehage 2005. <sup>180</sup>

En cuanto al contenido de humedad, es claro que las pajas y rastrojos tienen una mayor cantidad de materia seca (90 % promedio) y aunque esta menor proporción de humedad asegura un mayor consumo de materia seca por bocado, la baja calidad de este tipo de forrajes no asegura una buena extracción de nutrientes por parte del animal.

La pobre calidad de estas pasturas se hace evidente en el bajo contenido de proteína cruda y en la gran proporción de FDA, factores que sugieren una digestibilidad limitada y una pobre extracción de nutrientes. Asimismo, la baja proporción de contenidos celulares, estimados a partir de los valores de FDN, sugiere una capacidad limitada para cubrir los requerimientos del équido, que debe ayudarse a través de la fermentación de la hemicelulosa y celulosa en sus cámaras de fermentación.

La Tabla 41, muestra la composición de algunos granos que suelen ser ofrecidos para cubrir las demandas nutricionales de los équidos.

**Tabla 41. Parámetros químicos de importancia nutricional en los granos de uso más común para la alimentación de équidos.**

Grano	MS (%)	Fracciones como porcentaje de material seca					
		PC	FC	FDN	FDA	EE	CEN
<b>Maíz</b>	88	10	3	9	3	4.2	2
<b>Cebada</b>	89	12	5	22	7	2.1	3
<b>Avena</b>	89	13	10	29	15	4.6	4
<b>Trigo</b>	89	14	3	12	4	2.5	2

Fuente: McDonald 2002, <sup>11</sup> Elias Bandala 1988, <sup>81</sup> Queensland Government 2006, <sup>98</sup> Richardson, 1997. <sup>99</sup>

En cuanto al contenido de humedad, es evidente que los granos contienen una cantidad de humedad prácticamente ignorable (10 % promedio), aspecto sin implicaciones nutricionales importantes pues, de cualquier modo, este tipo de alimentos aportan cantidades considerables de nutrientes digestibles por bocado consumido.

**Tabla 42. Parámetros químicos de importancia nutricional en algunos concentrados comerciales para la alimentación de équidos.**

Producto	MS (%)	Fracciones como porcentaje de materia seca		
		PC	EE	FC
<b>A</b>	88	12	3	12
<b>B</b>	88	12	3	25
<b>C</b>	88	9	4	12
<b>D</b>	88	14	2	9

Fuente: Omafra 2005 (A), <sup>171</sup> Purina Equine Nutrition 2006 (B), <sup>181</sup> Equinediet Company 2006(C), <sup>182</sup> GLS horses 2006(D). <sup>183</sup>

La mejor calidad de este tipo de alimentos se hace evidente en su contenido de proteína cruda; sin embargo, el mejor parámetro para valorar su calidad es el contenido ignorable de fibra cruda, lo que asegura su digestibilidad. Aunque se presentan los valores de FDN y FDA en la tabla, estos parámetros no son indispensables para valorar la calidad de los granos y concentrados comerciales, basta con el valor de fibra cruda.

La Tabla 42, muestra los distintos valores de PC, FC y EE de cuatro diferentes concentrados comerciales para equinos. Los valores se presentan con base en la información proporcionada por la empresa en la etiqueta del producto.

En cuanto al contenido de humedad, la variación no es amplia; de hecho, la mayoría de los concentrados para equinos contienen entre un 10 y 15 % de humedad.

En cuanto al valor de fibra cruda, este va a variar dependiendo de las especificaciones del producto y los ingredientes que incluye. Los valores de FC generalmente no son mayores a 10 % y su inclusión no está destinada a satisfacer las necesidades de los équidos por esta fracción nutricional.

## b. Lípidos

La importancia de los ácidos grasos se ha descrito en el capítulo de conceptos nutricionales. La grasa en la dieta de los équidos cumple funciones como: 1) recurso de ácidos grasos esenciales; 2) recurso concentrado de energía; 3) solvente que facilita la absorción de vitaminas liposolubles; 4) mejorar la palatabilidad de ciertos alimentos; 5) reducir la polvosidad del alimento; 6) ayudar a la compactación de las partículas; y 7) facilitar el pasaje de los alimentos por su efecto lubricante.<sup>75</sup>

La Tabla 43, muestra la concentración de los ácidos grasos más abundantes en granos comúnmente usados en alimentación de équidos. Los ácidos grasos más abundantes en los granos son el linoleico y oleico, conformando alrededor del 70 % de la fracción grasa en todos los casos. El ácido linoleico es el principal ácido graso esencial, aunque el araquidónico y el linolénico son efectivos en reemplazarle. El ácido araquidónico se encuentra solo en grasas animales y en cantidades relativamente pequeñas mientras que el ácido linoleico se encuentra en otros alimentos y en mayores cantidades. Por tanto, el ácido linoleico es el recurso principal de ácidos grasos esenciales y debe considerarse para su inclusión en raciones para equinos.

**Tabla 43. Proporción de ácidos grasos en la fracción grasa de algunos granos utilizados en la alimentación de équidos.**

<b>Acido graso</b>	<b>Avena</b>	<b>Maíz</b>	<b>Trigo</b>	<b>Cebada</b>
Linoleico	37.5	56.5	56.4	55.4
Oleico	37.1	26.9	15.2	12.8
Palmítico	16.6	11.1	17.8	22.2
Linolénico	1.5	1.0	5.9	5.6
Esteárico	1.2	1.8	0.8	1.5
Otros	6.1	2.7	3.9	2.5

Fuente: Sauvant 2004.<sup>76</sup>

## c. Vitaminas

La Tabla 44, muestra la concentración promedio de las distintas vitaminas en algunos de los forrajes utilizados en la alimentación de équidos.

**Tabla 44. Concentración promedio de vitaminas en forrajes utilizados para la alimentación de équidos.**

Vitaminas		Forrajes frescos	Heno de alfalfa	Pajas y rastrojos
<b>A</b>	(UI/kg)	180000	10000	-----
<b>D</b>	(UI/kg)	1000	1400	-----
<b>E</b>	(UI/kg)	300	20	-----
<b>K</b>	(mg/kg)	Niveles adecuados	20	-----
<b>B1</b>	(mg/kg)	-----	3	-----
<b>B2</b>	(mg/kg)	-----	5	-----
<b>B3</b>	(mg/kg)	-----	25	-----
<b>B5</b>	(mg/kg)	13	15	-----
<b>B6</b>	(mg/kg)	4	5	-----
<b>B12</b>	(mg/kg)	-----	-----	-----
<b>Ac. Fólico</b>	(mg/kg)	0.5	0.7	-----
<b>Biotina</b>	(mg/kg)	-----	0.3	-----
<b>C</b>	(mg/kg)	Niveles variables	Niveles variables	-----

Fuente: McDomald 2002,<sup>11</sup> Kohnke 1989,<sup>71</sup> Horsehage 2005,<sup>180</sup> Virginia S.U. 2006.<sup>184</sup>

Es notable la mayor concentración de vitaminas liposolubles en forrajes frescos, comparados con henos, pajas y rastrojos; esto debido a que las vitaminas en el forraje fresco no han sido desnaturalizadas por procesamientos como el secado. Por lo que toca al contenido de vitaminas hidrosolubles no hay una variación significativa entre un tipo de forraje y otro. Los valores para pajas y rastrojos no se han reportado en la literatura.

Se ha sugerido que la concentración de vitaminas depende de factores adicionales a solo el tipo de forraje. Por ejemplo, comparando forrajes de una familia se observan ligeras diferencias entre especies; sin embargo, las condiciones de clima y suelo en que la planta crece, afectan gradualmente la concentración de vitaminas.

**Tabla 45. Concentración promedio de vitaminas en granos utilizados para la alimentación de équidos.**

Vitaminas		Maíz	Cebada	Avena	Trigo
<b>A</b>	(UI/kg)	2300	2220	2000	160
<b>D</b>	(UI/kg)	-----	-----	-----	-----
<b>E</b>	(mg/kg)	17	16	12	15
<b>K</b>	(mg/kg)	0.3	-----	0.51	-----

<b>B1</b>	(mg/kg)	4	4	6	4
<b>B2</b>	(mg/kg)	1.4	1.5	1.6	1.2
<b>B3</b>	(mg/kg)	21	53	17	54
<b>B5</b>	(mg/kg)	6	7	8	11
<b>B6</b>	(mg/kg)	5	4	5	3
<b>B12</b>	(mg/kg)	0	0	0	0
<b>Ac. Fólico</b>	(mg/kg)	0.25	0.35	0.33	0.47
<b>Biotina</b>	(mg/kg)	0.06	0.14	0.20	0.09
<b>C</b>	(mg/kg)	-----	-----	-----	0

Fuente: McDonald 2002,<sup>11</sup> Kohnke 1989,<sup>71</sup> Sauvart, 2004,<sup>76</sup> Virginia S.U. 2006.<sup>184</sup>

La Tabla 45, muestra la concentración promedio de vitaminas en granos utilizados en la alimentación de équidos. Hay muy poca variación en concentración de vitaminas entre un tipo de grano y otro. No obstante, al igual que en los forrajes, las concentraciones dependerán de factores secundarios como los descritos anteriormente.

Por lo que toca a concentrados comerciales, estos productos suelen presentar solo la concentración de vitamina A en sus etiquetas.

#### d. Minerales

La Tabla 46, muestra la concentración promedio de los principales minerales en los forrajes frescos de leguminosas y pastos. Es conocido el mayor contenido de calcio de las leguminosas sobre las gramíneas; sin embargo, el contenido de fósforo puede ser similar o ligeramente mayor en pastos. El potasio y sodio son también elementos que se encuentran en mayor cantidad en pastos, aunque su concentración en leguminosas no es ignorable.

**Tabla 46. Concentración promedio de minerales de importancia nutricional, en forrajes frescos de uso común en la alimentación de équidos.**

Minerales	Leguminosas	Pastos
<b>Ca (%)</b>	1.3	0.5
<b>P (%)</b>	0.3	0.5
<b>Na (%)</b>	0.1	0.2
<b>K (%)</b>	2.2	4
<b>Cl (%)</b>	0.5	0.08
<b>S (%)</b>	0.25	0.22

<b>Zn (ppm)</b>	20	20
<b>Cu (ppm)</b>	0.06	0.02
<b>Mn (ppm)</b>	0.2	0.23

Fuente: McDomald 2002,<sup>11</sup> Kohnke 1989,<sup>71</sup> Patent Storm 1996,<sup>170</sup> Cunha 1980.<sup>75</sup>

El resto de los minerales se encuentran en cantidades muy similares entre una y otra familia forrajera; aunque debe recordarse que en los forrajes la concentración de elementos, sobre todo los traza, está sujeta principalmente al tipo de suelo y la disponibilidad de nutrientes para la planta durante su crecimiento.

Por lo que toca a los forrajes henificados, como se ha dicho respecto a otros nutrientes, la concentración de minerales no cambia de manera importante al comparar la calidad de un forraje en estado verde o el mismo en estado deshidratado; lo que sugiere que el proceso de secado no altera drásticamente la concentración de minerales (Tabla 47).

La consideración que debe hacerse al tratar con estos forrajes, es que el consumo de nutrientes por bocado es mayor, debido a la mayor proporción de materia seca.

**Tabla 47. Concentración promedio de minerales de importancia nutricional, en forrajes henificados de uso común en la alimentación de équidos.**

<b>Minerales</b>	<b>Leguminosas</b>	<b>Pastos</b>	<b>Otras gramíneas</b>
<b>Ca (%)</b>	1.1	0.4	0.3
<b>P (%)</b>	0.2	0.3	0.2
<b>Na (%)</b>	0.2	0.3	0.2
<b>K (%)</b>	1.8	2.4	1.5
<b>Cl (%)</b>	0.3	0.4	0.4
<b>S (%)</b>	0.2	0.2	0.2
<b>Zn (ppm)</b>	19.0	28.0	28.0
<b>Cu (ppm)</b>	0.3	0.04	0.06
<b>Mn (ppm)</b>	0.6	0.09	0.6

Fuente: McDomald 2002,<sup>11</sup> Kohnke 1989,<sup>71</sup> Patent Storm 1996,<sup>170</sup> Cunha 1980.<sup>75</sup>

Los cambios drásticos en la concentración de minerales se observan al comparar los forrajes verdes y henificados con los forrajes en forma de rastrojo o paja. Estos últimos tienen concentraciones verdaderamente pobres de todos los minerales; acaso el potasio y el sodio son los únicos cuyos niveles no se alteran drásticamente (Tabla 48).

**Tabla 48. Concentración promedio de minerales de importancia nutricional, en pajas y rastrojos de gramíneas de uso común en la alimentación de équidos.**

Minerales	Pajas y rastrojos
Ca (%)	0.20
P (%)	0.07
Na (%)	0.22
K (%)	2.00
Cl (%)	0.50
S (%)	0.10
Zn (ppm)	6.00
Cu (ppm)	0.03
Mn (ppm)	0.60

Fuente: McDomald 2002,<sup>11</sup> Kohnke 1989,<sup>71</sup> Patent Storm 1996,<sup>170</sup> Cunha 1980.<sup>75</sup>

Los granos son bien conocidos por su mayor proporción de fósforo sobre el calcio (Tabla 49). De hecho, la concentración de fósforo en forrajes de gramíneas es comparable a la de los granos, lo cual no sucede al hablar de concentraciones de calcio.

**Tabla 49. Concentración promedio de minerales de importancia nutricional, en granos de uso común en la alimentación de équidos.**

Minerales	Granos
Ca (%)	0.06
Na (%)	0.07
P (%)	0.30
K (%)	0.40
Cl (%)	0.90
S (%)	0.15
Zn (ppm)	25.00
Cu (ppm)	0.02
Mn (ppm)	0.20

Fuente: McDomald 2002,<sup>11</sup> Kohnke 1989,<sup>71</sup> Patent Storm 1996,<sup>170</sup> Cunha 1980.<sup>75</sup>

El resto de los macro y microelementos se encuentran en cantidades variables entre uno y otro tipo de grano y, como ya se ha dicho, su concentración está sujeta a las condiciones de clima y tipo de suelo en el área de producción de los granos (Tabla 50).

**Tabla 50. Concentración promedio de minerales de importancia nutricional, en concentrados comerciales de uso común en la alimentación de équidos.**

Minerales	A	B	C	D
Ca (%)	1.5	0.9	0.8	-----

<b>P (%)</b>	1.0	0.3	0.5	-----
<b>Cu (ppm)</b>	20	25	-----	-----
<b>Zn (ppm)</b>	40	1000	-----	-----
<b>Se (ppm)</b>	0.1	0.3	-----	-----

Fuente: Omafra 2005 (A),<sup>171</sup> Purina Equine Nutrition 2006 (B),<sup>181</sup> Equinediet Company 2006(C),<sup>182</sup> GLS horses 2006(D).<sup>183</sup>

Los concentrados comerciales, aunque están hechos a base de granos, no muestran esa tendencia a tener más fósforo que calcio. Esto se debe a que su formulación incluye premezclas para corregir desbalances minerales. El contenido de minerales traza en concentrados comerciales es muy variable y está sujeto a la marca y tipo del mismo.

## 4.6. Métodos matemáticos para estimar el valor nutritivo de los alimentos en équidos

### 4.6.1. Energía digestible en forrajes

La concentración de energía bruta en todos los alimentos de composición química comparable es muy similar. Lo que cambia entre uno y otro es la digestibilidad de dicha energía dependiendo de la naturaleza, proporción y organización de los constituyentes de la materia orgánica (carbohidratos estructurales y no estructurales, extracto etéreo y proteína). Una consideración importante, sobre todo en équidos, es la pérdida de energía por el incremento calórico ocasionado por la digestión; misma que puede variar dependiendo de la composición de la dieta. Básicamente, las dietas cuya digestión se completa principalmente por fermentación resultan en una pérdida mayor de energía debida al incremento calórico, que aquellas que pueden ser digeridas por las enzimas del animal en el intestino delgado.<sup>117</sup>

Existe más de una vía para estimar el aporte de energía digestible por un alimento o forraje en los animales. En el sistema de evaluación del AQP se puede determinar el total de nutrientes digestibles (TND) y a partir de este dato se pueden calcular las fracciones de energía digestible (ED), energía metabolizable (EM) e incluso los valores de energía neta (EN).<sup>172</sup> Tales determinaciones son acertadas para estimar el rendimiento energético del alimento en los rumiantes; no obstante, aunque se cuenta con datos para ser utilizados en caballos (1kg de TND = 4.6 Mcal de ED), se ha demostrado que esta aproximación no es acertada.<sup>183</sup> Así mismo, se han generado ecuaciones para estimar el aporte de ED de la dieta de caballos con base en digestibilidad de la materia orgánica (DMO):<sup>25</sup>

$$ED = 0.034 + \Delta + 0.9477 DMO$$

Donde  $\Delta$  es -1.1 para forrajes y 1.1 para concentrados.

Sin embargo, la limitante de esta ecuación es conocer el dato de DMO; que para obtenerlo se requiere hacer estimaciones *in vivo*.

Una vía práctica y acertada para aproximarse al rendimiento de energía digestible por un forraje en equinos es apoyándose en el contenido de fibra detergente ácido. El análisis de Van Soest es común en cualquier laboratorio bromatológico. Puesto que este análisis describe el contenido de FDA y FDN, estos pueden ser utilizados en la ecuación propuesta por Fonesbeck<sup>185</sup> que ha sido utilizada por el NRC 1989,<sup>77</sup> para estimar el aporte de energía digestible por forrajes en equinos.

La ecuación que calcula la energía digestible de los forrajes y los derivados vegetales que se utilizan en la alimentación de équidos es la siguiente:

$$\text{ED (Mcal/kg)} = \{[4.22 - 0.11 (\% \text{ FDA})] + [0.03632 (\% \text{ PC})] + [0.00112 (\% \text{ FDA}^2)]\}$$

Donde ED es el aporte de energía digestible por el forraje, FDA es el contenido de fibra detergente ácido y PC es el contenido de proteína cruda del forraje.

Por ejemplo, si se trata de un heno de avena cuya concentración de proteína cruda (PC) es de 10 % y de Fibra Detergente Acido (FDA) de 39 %, el rendimiento de energía digestible (ED) sería de:

$$\begin{aligned} \text{ED (Mcal/kg)} &= \{[4.22 - 0.11 (39)] + [0.03632 (10)] + [0.00112 (39^2)]\} \\ &= \{[4.22 - 4.29] + [0.3632] + [0.00112 (1521)]\} \\ &= \{[- 0.07] + [0.3632] + [1.70]\} \\ &= \{[- 0.07] + [0.3632] + [1.70]\} \\ &= \mathbf{1.99 \text{ Mcal/kg}} \end{aligned}$$

A través del método de total de nutrientes digestibles:

$$\begin{aligned} \text{TND} &= \mathbf{88.9 - (0.799 \times \text{FDA})} \\ &= 88.9 - (0.799 \times 39) \end{aligned}$$

$$= 88.9 - 31.16$$

$$\mathbf{TND = 57.7}$$

$$\mathbf{ED = 4.6 TND}$$

$$= 4.6 * 0.577$$

$$= \mathbf{2.65 MCal/kg}$$

El rendimiento estimado de energía digestible por TND corresponde al 30 % por arriba del estimado por la ecuación de Fonesbeck. Esta sobreestimación del aporte de energía por kilogramo de materia seca de forraje podría llevar a subalimentar al animal.

#### 4.6.2. Energía digestible en concentrados

Predecir la digestibilidad es un paso básico para la evaluación de energía de los alimentos para équidos, ya que la fermentación microbiana juega un papel importante en la digestión e incluso la interacción que hay entre los alimentos es mas importante que en otras especies. Zeyner y Kienzle <sup>151</sup> presentan una ecuación para predecir el rendimiento de ED de concentrados y granos para equinos. La ecuación fue derivada matemáticamente de ecuaciones basadas en consideraciones fisiológicas, excluyendo las raciones de alimentos con un porcentaje de grasa mayor a ocho y un porcentaje de fibra cruda mayor a treinta y cinco, ambas en base seca. <sup>151</sup>

La ecuación recomendada es:

$$\mathbf{ED (MCal/kg) = (-3.60 + 0.211 PC + 0.421 EEA + 0.015 FC + 0.189 ELN) / 4.185}$$

Donde PC (proteína cruda), EEA (extracto etéreo ácido), FC (fibra cruda) y ELN (extracto libre de nitrógeno) se introducen como porcentaje de materia seca.

El valor de extracto etéreo ácido no es una determinación común en los laboratorios bromatológicos de México; sin embargo, trabajando con granos y alimentos comerciales no hay gran diferencia en utilizar EE en lugar de AEE. La diferencia es

realmente relevante en alimentos ricos en grasa y fibra, pues la fibra puede disminuir la solubilidad de las grasas en el éter durante el análisis químico proximal (Zeyner, comunicación personal).

El extracto libre de nitrógeno es un valor que se obtiene por diferencia a partir de los parámetros del químico proximal de la siguiente manera: <sup>11</sup>

$$\text{ELN (\%)} = 100 - (\text{Cenizas} + \text{PC} + \text{EE} + \text{FC})$$

En un ejemplo con un grano de maíz cuyas características químicas son:

MS: 88 %

PC: 10 %

EE: 4.2 %

FC: 3 %

Cenizas: 2 %

$$\begin{aligned}\text{ELN} &= 100 - (2 + 10 + 4.2 + 3) \\ &= 100 - 19.2 \\ &= \mathbf{80.8}\end{aligned}$$

Sustituyendo la fórmula: <sup>151</sup>

$$\begin{aligned}\text{ED (MCal/kg)} &= (-3.60 + 0.211 (10) + 0.421 (4.2) + 0.015 (3) + 0.189 (80.8)) / 4.185 \\ &= (-3.60 + 2.11 + 1.76 + 0.045 + 15.27) / 4.185 \\ &= \mathbf{3.72 \text{ MCal/kg}}\end{aligned}$$

El rendimiento de energía digestible pronosticado es: 3.72 MCal por Kg de MS

Si se calcula el rendimiento de energía digestible a través de TND:

$$\text{TND} = \text{PC} + \text{ELN} + \text{FC} + \text{EE} \mathbf{2.25}$$

Donde PC, ELN, FC y EE se introducen como porcentaje, entonces:

$$\begin{aligned}\text{TND} &= 10 + 80.8 + 3 + 4.2 (2.25) \\ &= 10 + 80.8 + 3 + 9.42\end{aligned}$$

$$= 103.22$$

Con este valor, el rendimiento de energía digestible calculado por el total de nutrientes digestibles de dicho alimento sería:

$$\text{ED (MCal/kg)} = 4.6 \text{ TND}$$

$$= 4.6 (0.1032)$$

$$= 4.74 \text{ MCal/kg}$$

El rendimiento estimado de energía digestible por TND corresponde al 27.4 % por arriba del obtenido por la ecuación de Zeyner y Kienzle.<sup>151</sup> Al igual que para el caso de los forrajes, esta sobreestimación del aporte de energía por kilogramo de materia seca de concentrado podría llevar a subalimentar al animal.

#### 4.6.3. Proteína Cruda Digestible en forrajes y concentrados

La digestibilidad del alimento influye en el aporte de aminoácidos al animal. El INRA<sup>25</sup> presenta ecuaciones para calcular el aporte de proteína cruda digestible de diferentes forrajes y cereales (Tabla 51). El valor de PC se introduce en la fórmula como gramos por kilogramo de materia seca y resulta en un valor estimado de PCD, el cual es confiable siempre y cuando el alimento tenga cantidades bajas de nitrógeno no proteico.

**Tabla 51. Pronóstico de PCD en alimentos para équidos.**

Tipo de alimento	Ecuación	r <sup>2</sup>
Todos los forrajes	$= -27.57 + 0.8441 \text{ PC}$	0.964
Cereales	$= -4.94 + 0.8533 \text{ PC}$	0.931

Fuente: Adaptado de Martín-Rosset et al 1994.<sup>25</sup>

Entonces, el valor de proteína cruda de concentrados o forrajes obtenido en laboratorio puede ser utilizado para ajustar la dieta con base en requerimientos de proteína cruda digestible. Tomando como ejemplo un heno de pasto con un 11 % de PC, el rendimiento de proteína cruda digestible se calcularía de la siguiente manera:

$$\text{PCD (g kg-1 MS)} = -27.57 + 0.8441 \text{ PC}$$

$$\text{PCD (g kg-1 MS)} = -27.57 + (0.8441 * 110)$$

$$\text{PCD (g kg-1 MS)} = -27.57 + 92.851$$

$$\text{PCD (g kg-1 MS)} = \mathbf{65.281}$$

El aporte de PCD por dicho pasto sería 65.28 gramos por kilogramos de materia seca. Lo que corresponde al 59.3 % del total de proteína estimado.

Si el forraje fuera un rastrojo de maíz con 4 % de PC, el aporte de PCD sería:

$$\text{PCD (g kg-1 MS)} = -27.57 + 0.8441 \text{ PC}$$

$$\text{PCD (g kg-1 MS)} = -27.57 + (0.8441 * 40)$$

$$\text{PCD (g kg-1 MS)} = -27.57 + 33.764$$

$$\text{PCD (g kg-1 MS)} = \mathbf{6.194}$$

El aporte de PCD por dicho rastrojo sería 6.194 gramos por kilogramos de materia seca. Lo que se traduce como un 15.5 % del total de proteína del alimento.

Si se tratara de un grano de cebada con un 10 % de PC, el aporte de PCD sería:

$$\text{PCD (g kg-1 MS)} = -4.94 + 0.8533 \text{ PC}$$

$$\text{PCD (g kg-1 MS)} = -4.94 + (0.8533 * 100)$$

$$\text{PCD (g kg-1 MS)} = -4.94 + (85.33)$$

$$\text{PCD (g kg-1 MS)} = \mathbf{80.93}$$

El aporte de PCD por el grano es 80.93 gramos por kilogramos de materia seca. Lo que significa que al menos el 80.9 % del total de proteína será disponible al animal.

Analizando estos tres ejemplos se puede notar que las ecuaciones consideran el tipo de forraje o alimento y su digestibilidad para estimar el aporte de proteína digestible. La disminución en el valor de PC a PCD fue de 41, 85 y 19 por ciento para el heno de pasto, el rastrojo de maíz y el grano de cebada, respectivamente.

Lo anterior está en función de lo siguiente: cuanto menor es la disponibilidad o digestibilidad de la proteína ingerida, mayor es la cantidad requerida. La digestibilidad de la proteína varía con la cantidad misma y la proporción de fibra en el alimento. Por tanto, la digestibilidad de la proteína decrece conforme incrementa la cantidad de fibra y disminuye la concentración de proteína en la dieta. La mayoría de la proteína de los granos y alimentos comerciales es digerida y absorbida en el intestino delgado, mientras que la mayor parte de la proteína de los forrajes se digiere en el colon.<sup>94, 115</sup> Esto explica entonces las diferencias en porcentaje de proteína perdida al llevar el valor de PC a PCD entre henos, rastrojos y concentrados. Es por ello más adecuado balancear las dietas con base en el aporte de proteína cruda digestible del alimento o los alimentos disponibles.

#### 4.6.4. Balance electrolítico

La idea de controlar las concentraciones iónicas de la ración a fin de evitar las consecuencias patológicas de la acidosis o alcalosis, ha encontrado campo de acción sobre todo en las áreas de producción animal, aunque también en equinos se ha desarrollado.

El balance electrolítico de la dieta de equinos se calcula con una ecuación que incluye la concentración en el alimento de los iones implicados en el equilibrio ácido-base del animal. La ecuación propuesta por Sauvant *et al.* 2004,<sup>76</sup> es la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{BE} &= (\text{K}^+ + \text{Na}^+) - (\text{Cl}^-) \\ &= 1.000 \times (\text{K}/39 + \text{Na}/23) - (\text{Cl}/35.5) \end{aligned}$$

Donde BE (balance electrolítico) está expresado en mEq/kg de materia seca y Na, K y Cl en gramos por kilogramo de materia seca.

Para un heno de leguminosa cuyas concentraciones son:

$$\text{Na} = 0.8 \text{ g/kg} \quad \text{Cl} = 3 \text{ g/kg} \quad \text{K} = 22 \text{ g/kg}$$

$$\text{BE} = 1.000 \times (\text{K}/39 + \text{Na}/23 - \text{Cl}/35.5)$$

$$\text{BE} = 1.000 \times (22/39 + 0.8/23 - 3/35.5)$$

$$\text{BE} = 1.000 \times (0.56 + 0.03 - 0.08)$$

$$\text{BE} = 1.000 \times (0.51)$$

$$\text{BE} = \mathbf{510 \text{ mEq/ kg de MS}}$$

El resultado de esta ecuación nos indica que el balance electrolítico del heno es de 510 mEq/ kg de MS. Este valor, más que reflejar la cantidad de electrolitos aportada por el alimento, permite estimar si la dieta está balanceada en este rubro.

Las dietas con valor alto de BE, tienen un efecto alcalinizante y son un factor importante en la alcalinización de la orina de muchos herbívoros. Raciones altas en granos, por ejemplo, tienden a mostrar un BE bajo (incluso negativo), considerado acidificante.

El aspecto más impactante de las dietas para equinos es la gran cantidad de potasio que se ingiere y se excreta cada día. Esto contrasta con el sodio, el cual se encuentra en la dieta en menores cantidades y su regulación en el organismo es más estricta. La regulación de las pérdidas urinarias de potasio no es tan precisa como la de sodio, con la posibilidad de pérdidas sustanciales de potasio aun en situaciones de anorexia.<sup>164</sup>

El balance electrolítico de las dietas depende principalmente del contenido en proteína y del tipo de complemento de sodio utilizado. Los ingredientes ricos en proteína suelen mostrar un BE alto en razón de su alto contenido de potasio. Hay que destacar que la reducción del nivel de proteína de la dieta se traduce en una fuerte disminución del balance electrolítico, lo que se ha asociado a la utilización de aminoácidos de síntesis.

La Tabla 52, muestra los valores que deben ser utilizados para transformar de meq/L a mg/L; para llevar acabo la transformación en la ecuación propuesta para el balance electrolítico de la dieta.

**Tabla 52. Relación entre las concentraciones expresadas en milimoles, miliequivalentes y miligramos por litro (=ppm) en algunos elementos.**

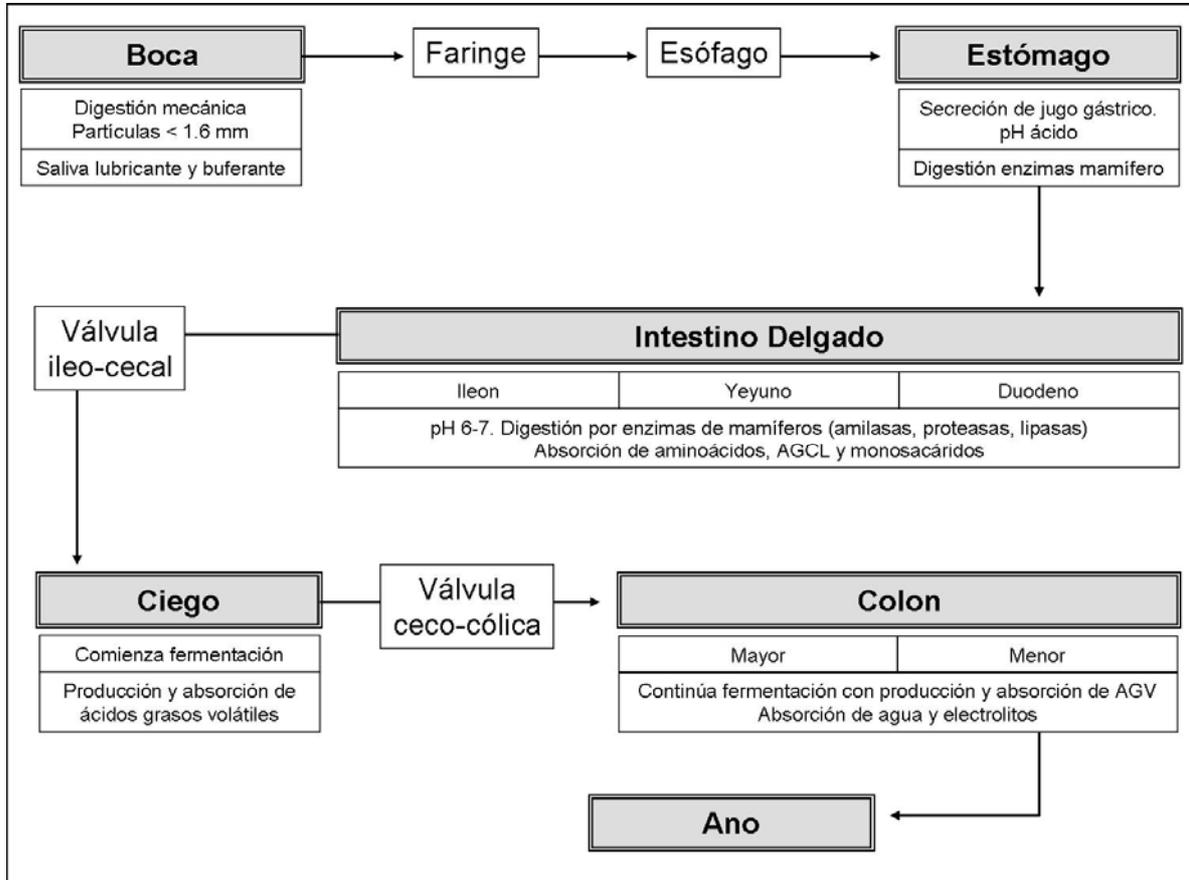
Ion	mmol/L	meq/L	Mg/L
<b>K<sup>+</sup></b>	1	1	39.1 K
<b>Na<sup>+</sup></b>	1	1	23.0 Na
<b>Mg<sup>++</sup></b>	1	2	24.3 Mg
<b>Ca<sup>++</sup></b>	1	2	40.1 Ca
<b>Cl<sup>-</sup></b>	1	1	35.5 Cl
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	1	1	14.0 N

Fuente: Ruralnet, 1999.<sup>186</sup>

La manipulación del BE se ha utilizado con éxito en varias especies. En ganado, para aumentar la producción de leche y prevenir la fiebre de leche; en cerdos, para reducir la incidencia y severidad de úlceras gástricas, reducir problemas articulares y aumentar la digestibilidad y absorción de nutrientes a nivel intestinal; en aves, para controlar el incremento calórico; en caballos, para alterar el pH urinario y el balance de calcio. Por tanto, el uso de esta aproximación puede tener aplicaciones importantes en el campo de los équidos sobre todo en el control de úlceras gástricas, problemas articulares, incremento calórico y rendimiento en el trabajo. Conforme la aplicación de estas prácticas nutricionales se haga más rutinaria, se apreciarán los beneficios de la complementación electrolítica y el control del metabolismo mineral y el balance ácido-base.

## 4.7. Modelos Conceptuales

### 4.7.1. Modelo de anatomía y fisiología digestiva equina



**Figura 8. Modelo conceptual de la secuencia anatómica y fisiológica en el tracto gastrointestinal de los équidos.**

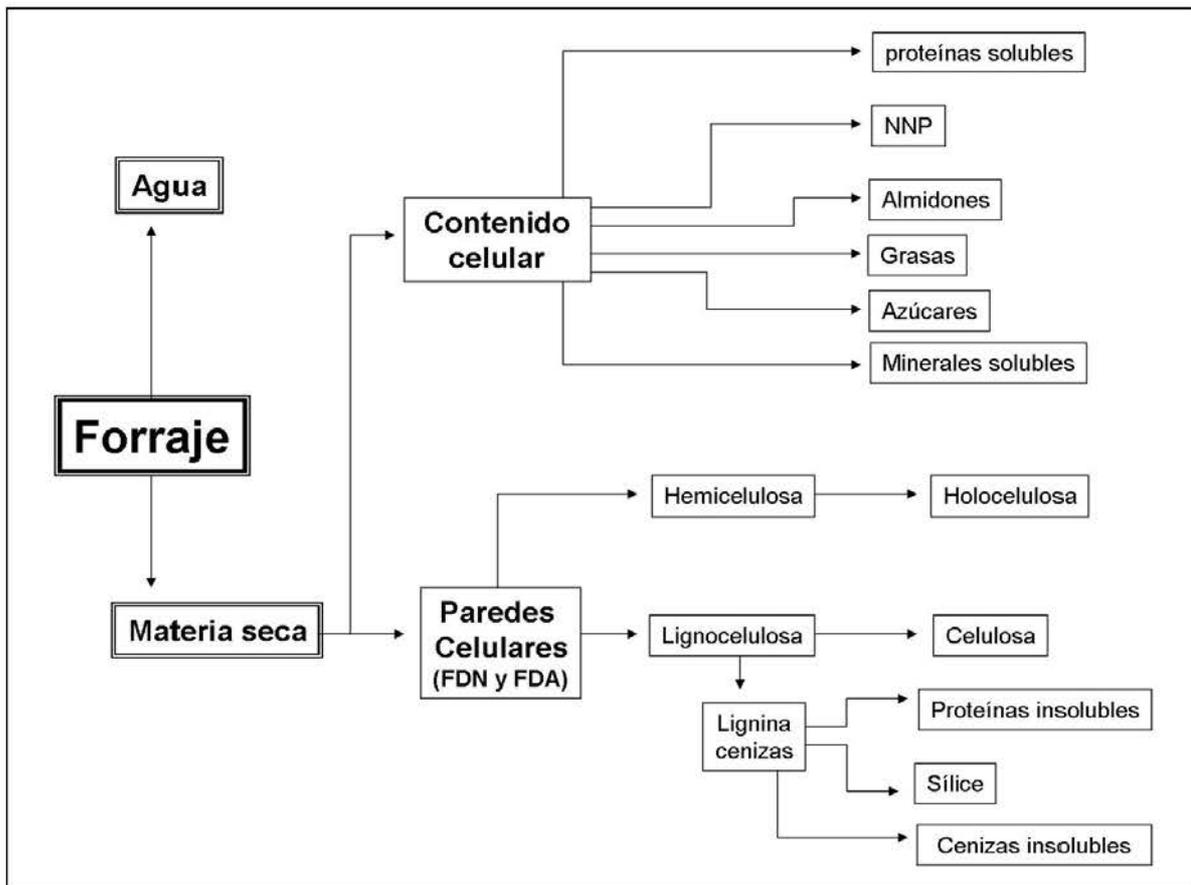
La Figura 8, muestra el modelo conceptual propuesto en el presente trabajo para describir la secuencia anatómica y fisiológica del tracto gastrointestinal de los équidos. La digestión del alimento comienza con un proceso mecánico en la boca, la masticación, donde también se dará la lubricación del bolo con la saliva secretada, misma que tendrá un efecto amortiguador para el pH estomacal. Una vez que las partículas tienen un tamaño menor a 2 mm entonces el bolo es empujado por la lengua hacia la faringe para ser deglutida hacia el esófago que conducirá el bolo hacia el estómago.

En el estómago comenzará la digestión química por medio de enzimas propias de mamíferos. Específicamente en esta sección se dará una secreción de ácido clorhídrico, que le confiere al ambiente estomacal ese pH ácido característico y que promueve la activación del pepsinógeno a pepsina para comenzar la digestión de las proteínas. Después de un tiempo no mayor a 60 minutos postdeglución el alimento pasa hacia el intestino delgado con un pH más alcalino y donde se da la mayor actividad digestiva de tipo químico gracias a la secreción de amilasas, maltasas, lipasas y proteasas. En esta sección del tracto gastrointestinal, principalmente el yeyuno e ileon, se da la absorción de las moléculas de glucosa, aminoácidos y ácidos grasos de cadena larga.

Después de su paso por el intestino delgado el alimento llega al ciego que es el principio del intestino grueso. En esta sección comenzará la digestión de tipo fermentativa ayudada por microorganismos en su mayoría bacterias, pero también protozoarios aunque en menor proporción. El principal componente de los alimentos aquí digerido es la fracción fibrosa y todos los nutrientes a ella unidos, aunque también se da la fermentación del almidón y proteína soluble que escapan de la digestión en intestino delgado. En el proceso de fermentación se liberan ácidos grasos volátiles y amoniaco que difunden hacia el torrente sanguíneo del animal.

En el colon continúa la fermentación del alimento y absorción de los mismos productos; sin embargo, aquí también se da la mayor absorción de agua y electrolitos para cubrir las demandas del animal por estos nutrientes. Después de una estancia que va de 24 a 72 horas en la sección que abarca el ciego-colon, el alimento digerido pasa al recto para ser excretado por el ano.

#### 4.7.2. Modelo de forrajes para équidos



**Figura 9. Modelo conceptual de los forrajes para équidos.**

La Figura 9, muestra el modelo conceptual que en el presente trabajo se propone para describir las características de un forraje utilizado en la alimentación de los équidos.

Este modelo no difiere mucho de los presentados en otras fuentes, pero intenta poner bien clara la diferenciación que puede hacerse de los diferentes nutrientes dentro de un forraje y como se agrupan para conformar cada una de las fracciones reportadas en un análisis de laboratorio, específicamente el análisis de Van Soest.

Como todo alimento, el forraje tiene una fracción de agua y una de materia seca. La materia seca del forraje está siempre integrada, en mayor o menor medida, por una fracción de contenidos celulares y una fracción de paredes celulares.

Los contenidos celulares incluyen todas aquellas moléculas potencialmente digestibles por enzimas de mamíferos. De ahí que los forrajes con una mayor

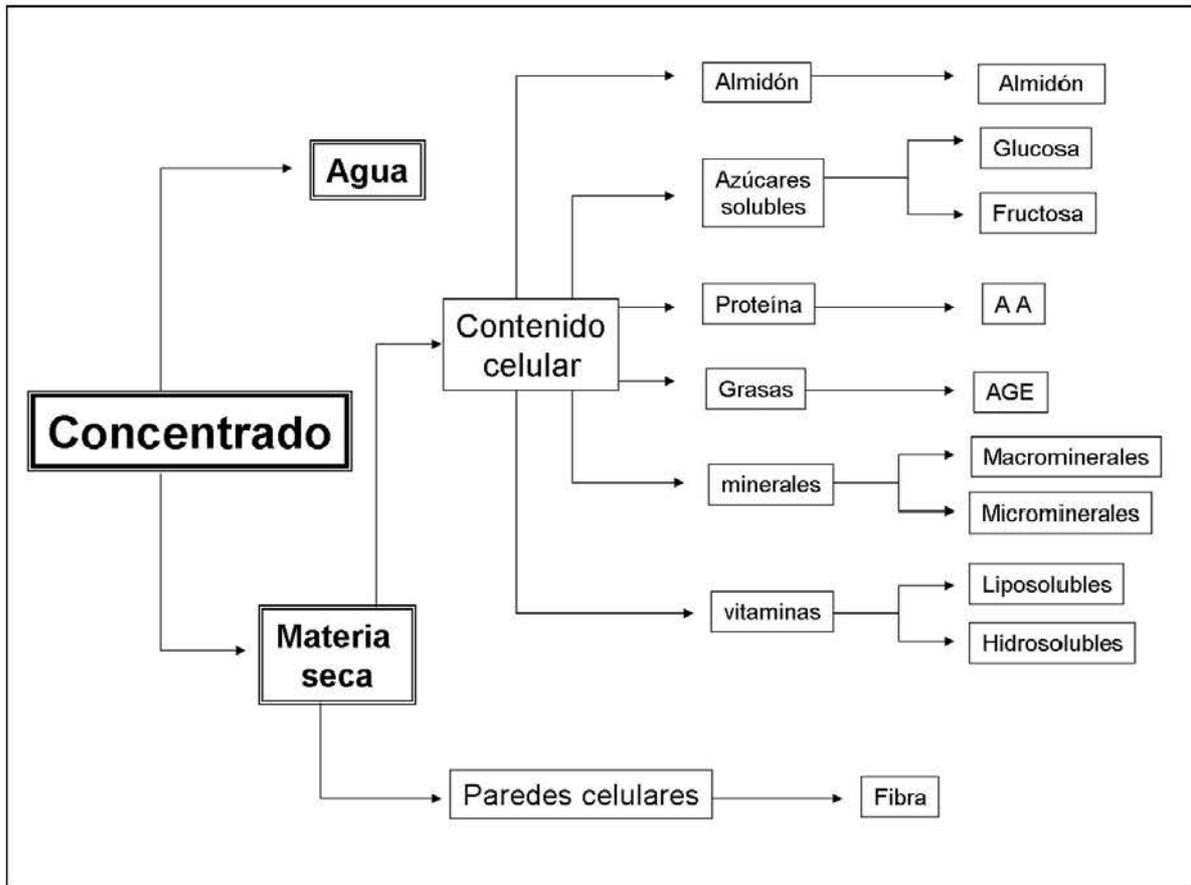
proporción de contenidos celulares resulten con un valor nutritivo mayor. Dentro de esta fracción se encuentran: las proteínas solubles, el nitrógeno no proteico, los almidones, los azúcares simples, las grasas y los minerales solubles.

La fracción de paredes celulares agrupa todos aquellos constituyentes estructurales o fibra del alimento. Por sus características físico-químicas estas paredes celulares se dividen en diferentes fracciones. La hemicelulosa, de la cual se deriva la holocelulosa, es conocida por sus características que le confieren una mayor facilidad de degradación por la actividad microbiana. La lignocelulosa, por su parte, es una fracción integrada por celulosa y lignina. La celulosa es un polisacárido estructural formado por glucosas con enlaces beta 1-4 que, aunque presentan mayor resistencia a la actividad microbiana, no dejan de ser potencialmente degradables y por tanto rinden ácidos grasos al animal.

Finalmente, la lignina es un compuesto imposible de degradar, aun por la actividad microbiana, cuyo mayor impacto en la nutrición es que a ella se encuentra unida mucha de la proteína de forrajes maduros; además de las cenizas insolubles y el sílice que no tienen mucha importancia nutricional.

#### 4.7.3. Modelo de concentrados para équidos

La figura 10, muestra el modelo conceptual que se propone para describir la integración de los concentrados utilizados para la alimentación de équidos. Al igual que los forrajes, los concentrados incluyen una fracción de humedad y una de materia seca.

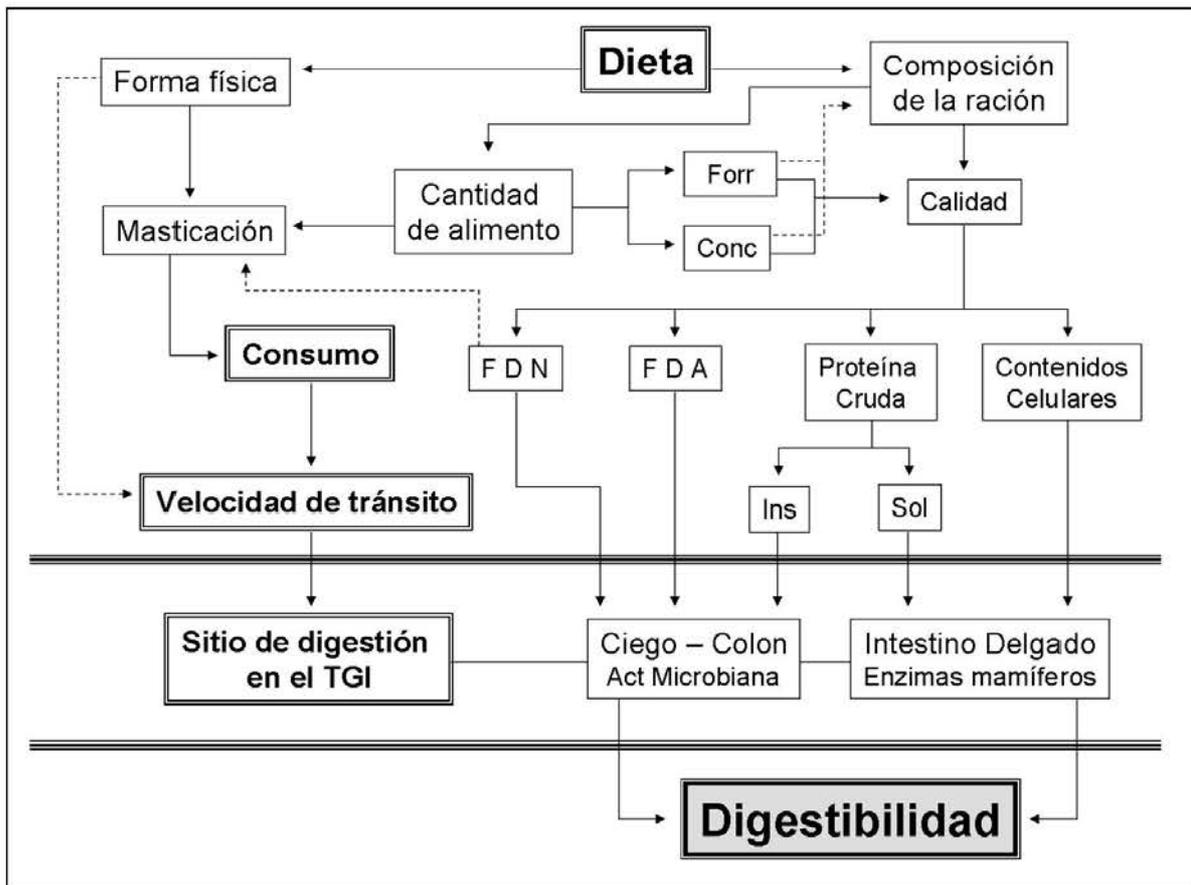


**Figura 10. Modelo conceptual de los alimentos concentrados para équidos.**

La fracción de materia seca es la que difiere importantemente entre forrajes y concentrados. Mientras que la fracción paredes celulares o fibra es ignorable en los concentrados, el contenido celular es de proporciones cerca del 90 % en la mayoría de los casos. El contenido celular se integra en los concentrados por: almidón, que rinde glucosa; azúcares solubles, principalmente glucosa y fructosa; proteína, que rinde aminoácidos; grasa, principalmente ácidos grasos esenciales; macro y microminerales en mayor o menor proporción dependiendo del alimento; y vitaminas, tanto hidrosolubles como liposolubles.

#### 4.7.4. Modelo de digestibilidad de los alimentos para équidos

La digestibilidad de la dieta está afectada por una serie de factores como puede apreciarse en el modelo que se presenta en la Figura 11.



**Figura 11. Modelo conceptual de la digestibilidad de los alimentos en équidos.**

Son dos factores primarios de la dieta que afectan la digestibilidad. Por un lado la forma física y por otro la composición de la ración. La forma física va a tener un efecto directo sobre la masticación que es el principio de la digestión, si se trata de forrajes largos de consistencia muy fibrosa, será necesaria una mayor masticación, mientras que si se trata de forrajes tiernos o concentrados, la masticación será más sencilla.

La composición de la ración estará contribuyendo a la digestibilidad por dos vías principales, primero por la cantidad de alimento, que tendrá efecto directo sobre la masticación, y luego por la calidad de la dieta, que estará también influenciada de manera directa por las cantidades de concentrado o forraje asignadas. La composición

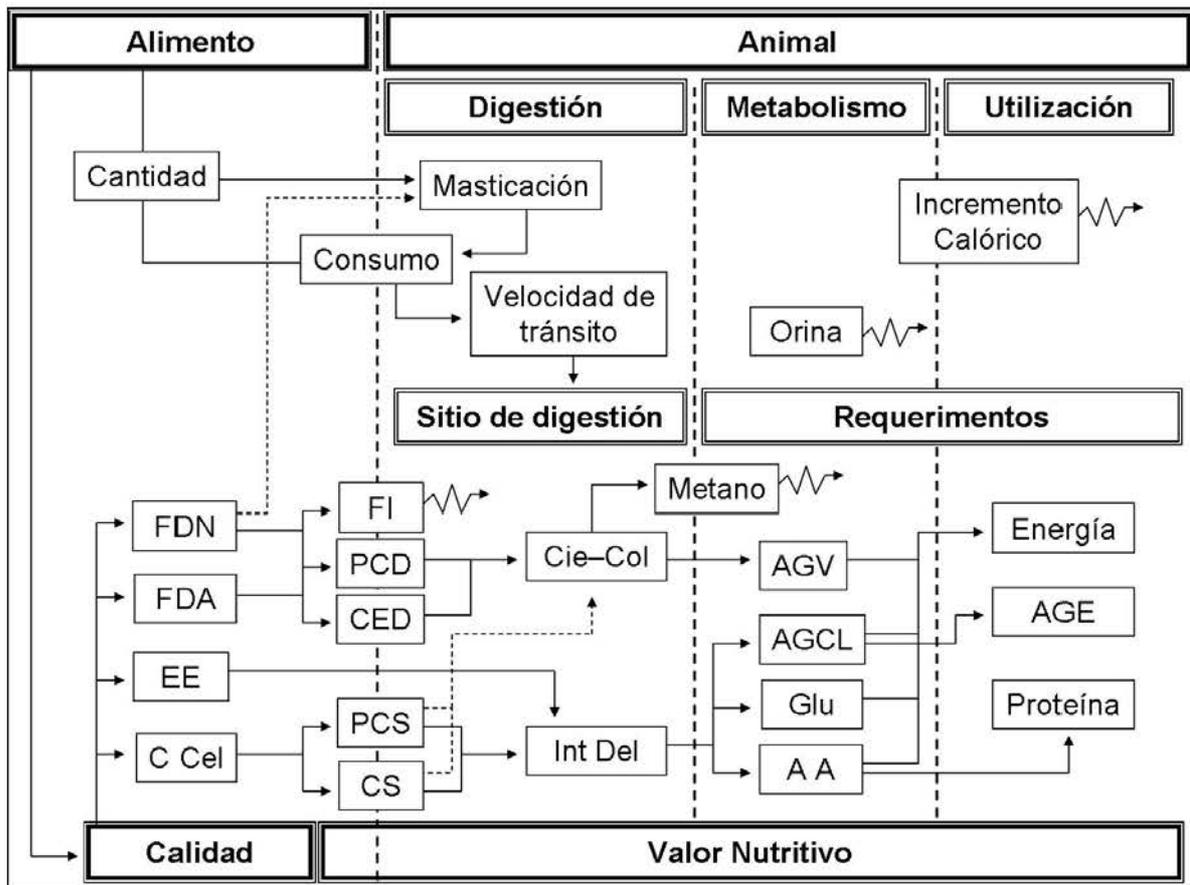
de la ración afecta de manera directa la calidad en cuanto a la selección de los ingredientes.

La calidad de la dieta va a estar en función de las proporciones de fibra detergente neutro (FDN), que tendrán efecto sobre la masticación, así como de fibra detergente ácido (FDA), de contenidos celulares y de proteína cruda, que puede estar en forma soluble o insoluble. Las cantidades de estos componentes de la dieta determinarán las proporciones de nutrientes digeridos en cada sección del tracto gastrointestinal; aunque aquí cabe destacar la participación del consumo, afectado por la cantidad de alimento, la forma física y por tanto la masticación, en la determinación de la velocidad de tránsito intestinal para exponer los componentes de la dieta a la actividad digestiva de las enzimas en intestino delgado o en ciego-colon. En condiciones ideales, los componentes de los contenidos celulares y la proteína cruda soluble se digerirán en el intestino delgado, mientras que la fibra se digerirá por fermentación en el ciego-colon. Considerando por supuesto que algo de los componentes solubles pueden escapar de la digestión enzimática y ser fermentados.

#### 4.7.5. Modelo de valor nutricional de los alimentos para équidos

La Figura 12, representa el modelo conceptual que se propone en el presente trabajo para explicar los mecanismos que determinan el valor nutricional del alimento en équidos.

El esquema representa los aspectos propios del alimento que determinan su valor nutritivo y el momento en que este comienza a ser más bien resultado de los procesos dentro del animal. Además, el modelo muestra hasta que punto se habla de calidad del alimento y en que momento comienza a hablarse de valor nutritivo.



**Figura 12. Modelo conceptual del valor nutritivo de los alimentos en équidos.**

El valor nutritivo entonces va a estar determinado en primera instancia por la cantidad ofrecida y la calidad. La cantidad va a afectar directamente la masticación y el consumo total de materia seca. La calidad estará determinada por las proporciones de contenidos celulares (CCel), extracto etéreo (EE), fibra detergente ácido (FDA) y fibra detergente neutro (FDN), esta última con cierto efecto sobre la masticación.

La masticación y por tanto el consumo total de materia seca van a tener efecto sobre la velocidad de tránsito de la dieta y el resultante tiempo de permanencia en las secciones del tracto gastrointestinal para determinar el sitio de digestión del alimento.

La sección del tracto gastrointestinal es muy importante. Idealmente, el extracto etéreo (EE), la proteína cruda soluble (PCS) y los carbohidratos solubles (CS) se digerirán en el intestino delgado (Int Del) para rendir ácidos grasos de cadena larga

(AGCL), aminoácidos (AA) y glucosa (GLC), que contribuirán a cubrir los requerimientos de energía, ácidos grasos esenciales (AGE) y proteína.

Respecto a la digestión de las fracciones FDN y FDA, en ellas se encuentran los carbohidratos estructurales digeribles (CED), la proteína insoluble pero potencialmente degradable (PCD) y la fracción indigestible (FI). Tanto CED como PCD, se digerirán en el ciego-colon para rendir principalmente ácidos grasos volátiles (AGV) que contribuirán a cubrir los requerimientos de energía del animal.

El modelo también considera las pérdidas que se dan durante la digestión, metabolismo y utilización de los nutrientes. Representando a la fracción indigestible (FI) como la pérdida de nutrientes durante la digestión, al metano y los productos del metabolismo perdidos con la orina y al incremento calórico producto del metabolismo y de la utilización de energía para producción de calor.

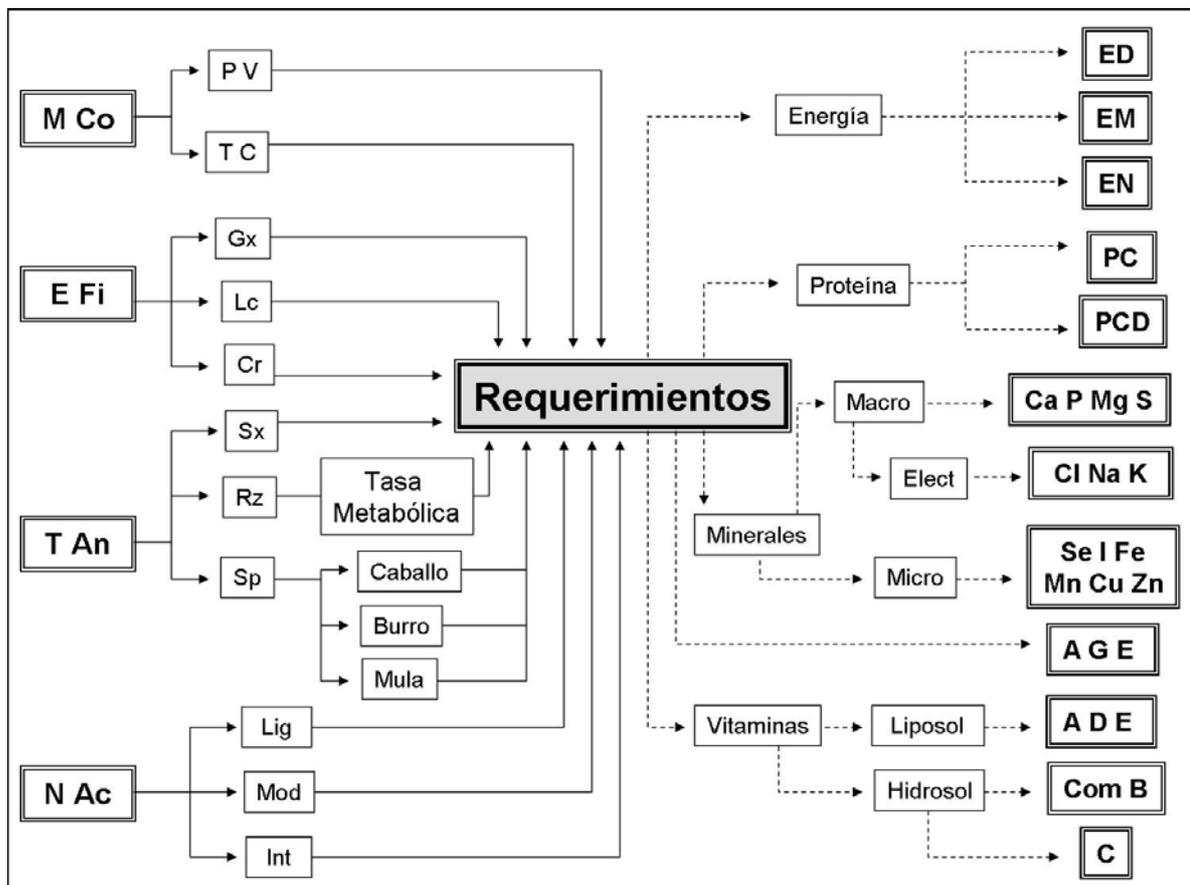
#### 4.7.6. Modelo de requerimientos nutricionales de los équidos

El modelo conceptual de requerimientos que se propone en el presente trabajo (Figura 13), pone en un extremo a los factores que determinan los requerimientos del animal y en el otro extremo a los nutrientes utilizados para cubrir los diferentes rubros dentro del metabolismo del animal.

La masa corporal ( $M_{Co}$ ) está como primer punto, determinando los requerimientos a través del peso vivo (PV) y la talla corporal (TC). Posteriormente se encuentra el estado fisiológico (E Fi), señalando si el animal se encuentra en gestación (Gx), lactación (Lc) o crecimiento (Cr), por los que puedan verse incrementados sus requerimientos.

El tipo de animal (T An) va a afectar los requerimientos, principalmente si se considera el sexo (Sx), la raza (Rz), que tendrá efecto sobre la tasa metabólica, y la especie (Sp) en cuestión: caballo, burro o mula.

Finalmente, el nivel de actividad (N Ac) completa la lista que está hacia el extremo del modelo que incluye los factores determinando los requerimientos. Las diferencias estarán en función de un nivel de actividad intenso (Int), moderado (Mod) o ligero (Lig).



**Figura 13. Modelo conceptual de los requerimientos nutricionales de los équidos.**

En el otro extremo del modelo se encuentran los diferentes rubros de requerimientos. La energía, que puede ser expresada en términos de energía digestible (ED), metabolizable (EM) o neta (EN), es el requerimiento más importante en équidos. Le sigue la proteína, que puede ser estimada como proteína cruda (PC) o proteína cruda digestible (PCD). Los minerales, que incluyen, por un lado a los macroelementos

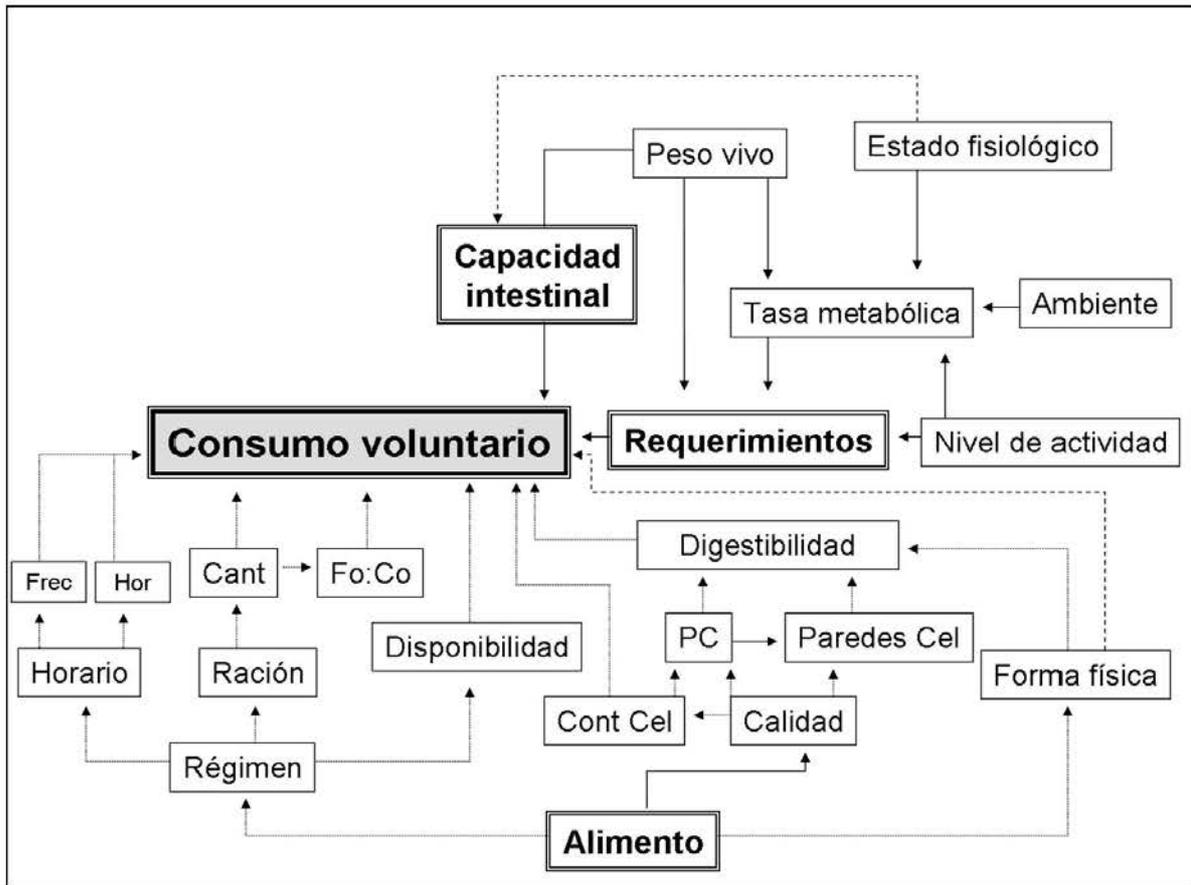
(Macro), a su vez divididos en electrolitos (Na, K y Cl), por su importancia en el equilibrio electrolítico y el balance ácido-base en équidos, y en los otros macroelementos (Ca, P, Mg y S); y por el otro lado a los microelementos (Micro), principalmente Se, I, Fe, Mn, Cu y Zn. El requerimiento de ácidos grasos esenciales (AGE) se incluye también en el modelo por la importancia de estos nutrientes en la nutrición de équidos.

Finalmente, los requerimientos de vitaminas tanto hidrosolubles (Hidrosol) como liposolubles (Liposol), completan el modelo propuesto.

#### 4.7.7. Modelo de consumo voluntario en équidos

La concepción del consumo voluntario y los factores que lo afectan en équidos se representa de manera gráfica en la (Figura 14). El consumo voluntario se ve afectado por un lado por factores propios del animal y por otro lado por factores del alimento.

Entre los factores del animal afectando el consumo se encuentran primero el peso vivo que determina la capacidad intestinal, la tasa metabólica y los requerimientos del animal. Luego el estado fisiológico que tiene un efecto directo sobre la tasa metabólica y un efecto indirecto sobre la capacidad intestinal, p.e. una yegua gestante tiene menor capacidad en el último tercio. La tasa metabólica también se ve afectada por el ambiente y por el nivel de actividad. Este nivel de actividad tiene efecto directo sobre los requerimientos del animal, quienes finalmente estarán determinando la cantidad de nutrientes que el animal necesita ingerir para mantenerse vivo y desempeñándose.



**Figura 14. Modelo conceptual del consumo voluntario en équidos.**

Por el otro lado se encuentran los factores del alimento, que es lo que finalmente se encargará de cubrir los requerimientos de nutrientes del animal y por tanto estará ejerciendo efectos sobre el total de materia seca ingerida.

Tres vías primarias por las que el alimento afecta el consumo se proponen en el presente modelo. El régimen de alimentación, la calidad del alimento y la forma física.

El régimen de alimentación determina el horario, en cuanto a frecuencia de alimentación (Frec) y hora del día (Hor) en que se permite la ingestión de alimento; la ración, en cuanto a la cantidad total de alimento (Cant) y la proporción forraje:concentrado (Fo:Co) de la dieta; y finalmente por la disponibilidad, si a libre acceso o restringido.

La calidad del alimento determina el consumo principalmente por su proporción de contenidos celulares (Cont Cel), proteína cruda (PC) y paredes celulares (Paredes

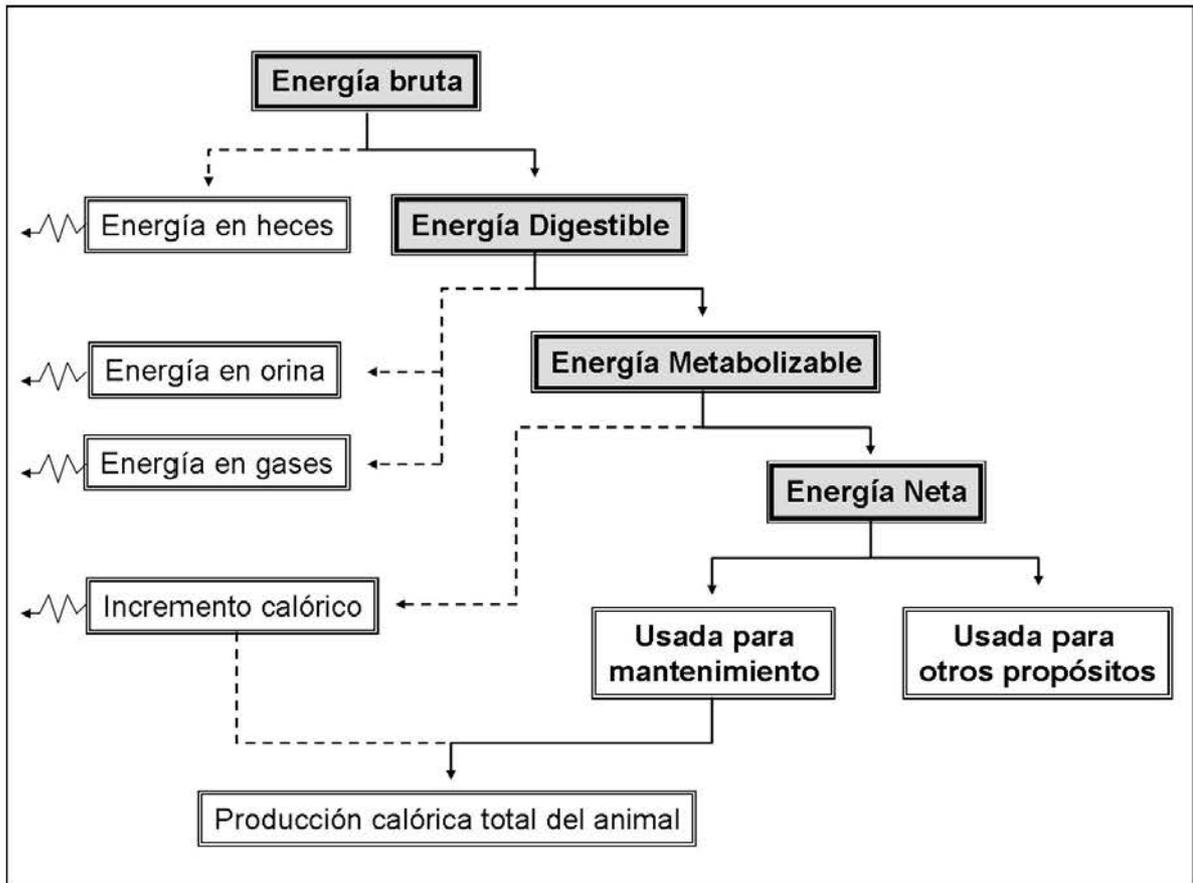
Cel). Estas dos últimas ejerciendo efecto considerable sobre la digestibilidad del alimento, que determinará la extracción de nutrientes.

Finalmente, la forma física del alimento, en cuanto si se ofrece en forma húmeda o seca, si entera, picada, molida, triturada, peletizada, etc. tendrá efectos primero sobre la digestibilidad y de alguna manera directa sobre el consumo, principalmente por los efectos que pueda tener sobre la masticación y la velocidad de ingestión de materia seca.

#### 4.7.8. Modelo de distribución de energía en équidos

El modelo que de distribución de energía que se propone en este trabajo no difiere mucho de los que se han propuesto para otros trabajos de equinos e incluso de otras especies (Figura 15). La primera forma de energía de un alimento es la energía bruta o calor de combustión. Cuando el alimento entra al tracto gastrointestinal, parte de la energía se pierde en heces, por lo que se considera entonces que la fracción de energía que se quedó dentro del animal es la energía digestible. Una parte de esta energía digestible se pierde con el metano producto de la fermentación y con la orina para que la parte de la energía que queda disponible al metabolismo se le llame energía metabolizable.

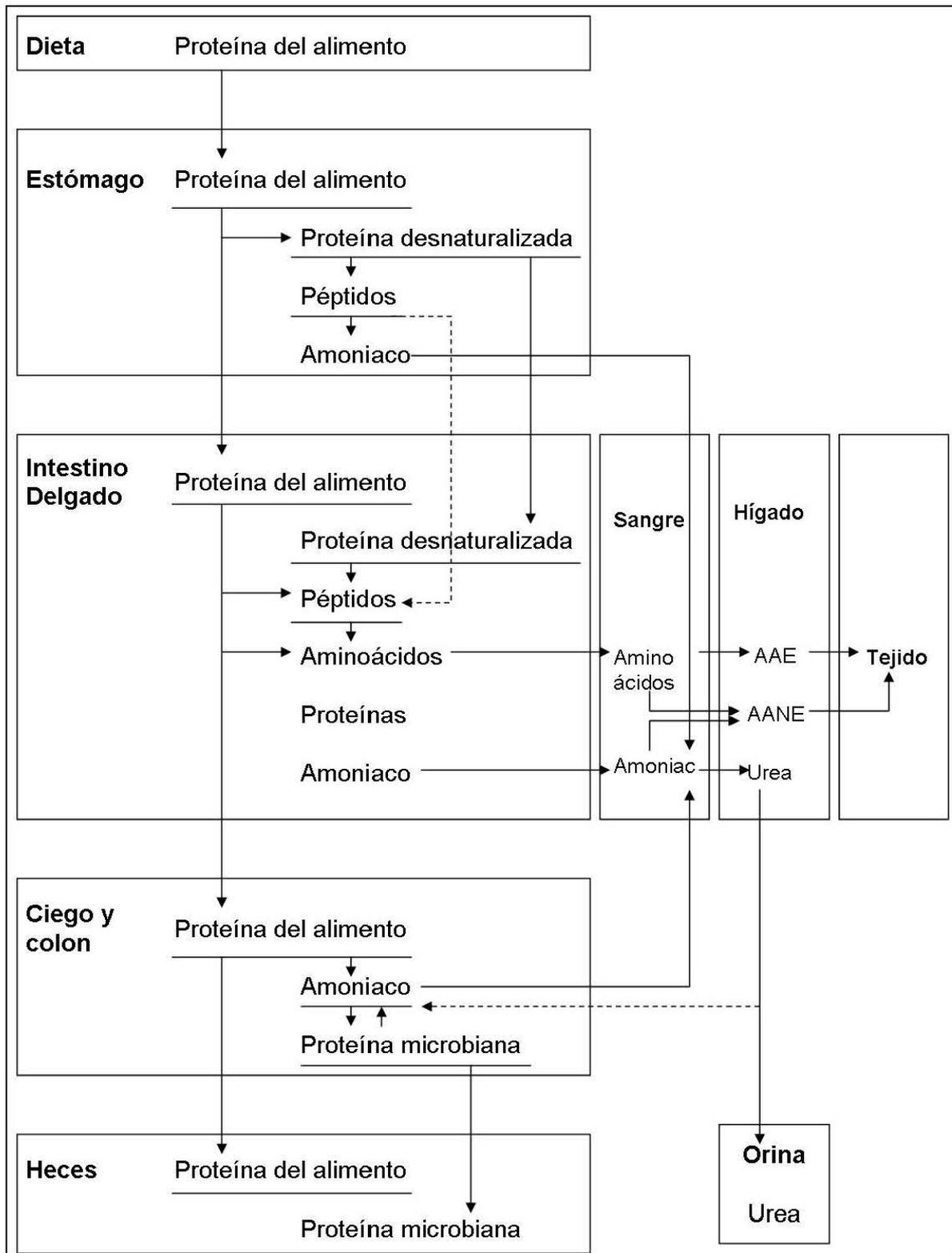
Finalmente, parte de esta energía metabolizable se pierde en el llamado incremento calórico del animal y la parte disponible o energía neta es lo que el organismo utiliza para cubrir sus requerimientos de energía de mantenimiento y para los propósitos extra (crecimiento, lactación, gestación, ejercicio, etc.); aunque hay que considerar que todavía una parte de la energía neta, específicamente la utilizada para mantenimiento, hace una contribución importante a la producción calórica total del animal, lo que se suma a las pérdidas por incremento calórico.



**Figura 15. Modelo conceptual de la distribución de la energía en équidos.**

#### 4.7.9. Modelo de digestión de proteína en équidos

El modelo de digestión de proteína presentado en este trabajo (Figura 16), es una modificación del propuesto por Potter.<sup>102</sup> El modelo ilustra bien los diferentes nutrientes y moléculas que rinde la proteína de la dieta dependiendo de la sección del tracto gastrointestinal donde se lleve a cabo la digestión.



**Figura 16. Modelo conceptual de la digestión de la proteína en équidos.**

Adaptado de Potter, 2004. <sup>102</sup>

El primer sitio donde hay una digestión de la proteína de la dieta es el estómago, donde la acción del ácido clorhídrico y la pepsina rinden proteína desnaturalizada,

péptidos y algo del amoniaco. El amoniaco se absorbe a sangre, mientras que los péptidos, la proteína desnaturalizada y la proteína del alimento no digerida pasan al intestino delgado donde están sujetos a la actividad de las proteasas intestinales para rendir péptidos y aminoácidos tanto esenciales como no esenciales que son absorbidos a la sangre para ser transportados al hígado donde serán metabolizados y/o enviados a los tejidos para su utilización. En el intestino delgado también se produce amoniaco que se absorbe a sangre.

La proteína del alimento que alcanza a escapar de la digestión del intestino delgado, o que no es potencialmente digestible por enzimas de mamíferos, pasa entonces al intestino grueso donde será fermentada para rendir amoniaco y entonces proteína microbiana. Esta proteína microbiana, junto con la fracción no degradable de la proteína del alimento, será finalmente excretada en heces. El amoniaco producto de la fermentación que no alcanza a ser utilizado por los microorganismos intestinales se absorbe a sangre para pasar a formar parte del total de amoniaco sanguíneo. Todo el amoniaco que es absorbido a sangre durante el proceso de digestión es transportado al hígado donde puede ser utilizado para rendir aminoácidos no esenciales o convertido a urea para su excreción por orina. Aunque también, como se sabe, gracias al sistema entero-hepático del équido, parte de la urea puede ser reabsorbida al intestino grueso para ser utilizada por los microorganismos y rendir amoniaco para la producción de proteína bacteriana, que a su vez puede ser digerida nuevamente para rendir amoniaco, manteniendo un ciclo producto de la evolución.

## V. CONCLUSIÓN

El presente trabajo recopiló, presentó y discutió mucha de la información más actual en torno a la nutrición de los équidos, resultando en un documento con posibilidad de ser utilizado como base teórica en el diseño de dietas para équidos de trabajo en México.

La mayoría de la información sobre nutrición de équidos ha sido producida en caballos deportivos. Algo de información se ha producido en caballos de trabajo y la que existe en burros es muy escasa e incompleta para desarrollar un sistema que trabaje efectivamente para esta especie. Se requiere de más investigación para contar con ecuaciones específicas para el cálculo de los requerimientos y valor nutritivo de los alimentos en burros en condiciones de mantenimiento y trabajo distintas.

El trabajo integró de manera clara y útil información y métodos de cálculo de requerimientos y valor nutritivo de los alimentos de diferentes sistemas de alimentación.

En équidos la formulación de la ración debe comenzar por la estimación de los requerimientos de energía y proteína para que, con base en el valor nutritivo del alimento, se defina la cantidad de materia seca total a ingerir.

La capacidad de consumo de materia seca como proporción del peso vivo en équidos debe utilizarse solo para comprobar que el total de materia seca calculado como necesario para cubrir las necesidades nutricionales se encuentra dentro del rango aceptado para un animal de tal peso y tal estado fisiológico o de producción.

Debido a la disponibilidad de información, lo conveniente es trabajar en el nivel de energía digestible, tanto para requerimientos como para valor nutritivo del alimento.

Aunque el rendimiento de proteína cruda digestible depende del sitio de digestión, este parámetro es el que se sugiere como más indicado para trabajar los requerimientos y valor nutritivo de los alimentos en equinos.

Sobresale la necesidad de producir más información en torno a digestibilidad de la proteína en diferentes secciones del tracto gastrointestinal, así como la relacionada con requerimientos específicos de aminoácidos.

Se refuta la idea de que los requerimientos extra de los équidos se deben de cubrir con concentrados, pues si se mejora la calidad de la fracción forraje de la dieta, se tendrán equinos con sus requerimientos de nutrientes cubierto y con una salud digestiva más segura.

El cálculo de las necesidades de minerales, especialmente los electrolitos, es un aspecto que debe de tomarse como un eje más de la formulación de dietas de équidos, no solo los de trabajo, sino en cualquier condición. Sobre todo considerando la importancia del balance electrolítico y sus implicaciones en el equilibrio ácido-base y la regulación de líquidos corporales en équidos trabajando largas jornadas en temperaturas extremas.

La consideración de las particularidades ambientales donde se desempeña el équido, principalmente temperatura y humedad relativa promedio, es importante en la definición de los requerimientos del animal; sin embargo, aun no existe información suficiente que lleve al desarrollo de ecuaciones para predecir el efecto de tales condiciones.

El diseño de modelos conceptuales resulta útil para comprender las particularidades de la nutrición de équidos. Sobre todo para entender los cambios en las respuestas del animal a la calidad y cantidad de los diferentes ingredientes utilizados en la dieta.

Los modelos conceptuales resultan útiles en la detección de los puntos donde el conocimiento en torno a la nutrición de équidos es escaso o no se ajusta bien a las condiciones particulares de México, para entonces guiar el desarrollo de proyectos de

investigación que ayuden a mejorar las condiciones de vida de estas especies en México.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Fielding D. The number and distribution of equines in the world. Memorias del Coloquio “Donkeys, mules and horses in tropical agricultural development”; 1990 september 3-6; Edimburgh (Scotland) United Kingdom. Edimburgh (Scotland): Alexander Ritchie & Son Ltd, 1991: 62-66.
2. Cruz LA. Los équidos de trabajo en México. Memorias del 3er Coloquio Internacional Sobre Equidos de Trabajo; 1998 octubre 5-9; Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia UNAM (Distrito Federal) México. México (Distrito Federal): Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia UNAM, 1998: 21-29.
3. Pearson RA. The future of working equids – Prospects and problems. Memorias del 3er Coloquio Internacional Sobre Equidos de Trabajo; 1998 octubre 5-9; Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia UNAM (Distrito Federal) México. México (Distrito Federal): Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia UNAM, 1998: 1-20.
4. Smith DG, Nahius A, Archibald RF. A comparison of the energy requirements for work in donkeys, ponies and cattle. Memorias del “Second International Colloquium in Working Equines”: 1994 april 20-22; Rabat (Marruecos). Rabat (Marruecos): Actes Éditions, 1994: 17-22.
5. FAO.[www.fao.org](http://www.fao.org)
6. Sims BG, Maldonado SJ. Donkeys and other equines in Mexican agriculture. Memorias del Coloquio “Donkeys, mules and horses in tropical agricultural development”; 1990 september 3-6; Edimburgh (Scotland) United Kingdom. Edimburgh (Scotland): Alexander Ritchie & Son Ltd, 1991: 8-12.

7. Aluja AS de, Chavira H, López A. The use of equids in Mexican agriculture. A comparison of the energy requirements for work in donkeys, ponies and cattle. Memorias del "Second International Colloquium in Working Equines": 1994 april 20-22; Rabat (Marruecos). Rabat (Marruecos): Actes Éditions, 1994: 281-288.
8. Cruz A. Y sigue la yunta andando. Tracción animal en la agricultura de México. México: Universidad Autónoma de Chapingo, 1997.
9. Aluja AS de, López F. Donkeys in México. Memorias del Coloquio "Donkeys, mules and horses in tropical agricultural development"; 1990 september 3-6; Edimburgh (Scotland) United Kingdom. Edimburgh (Scotland): Alexander Ritchie & Son Ltd, 1991: 1-7.
10. Velázquez L, Zamora V, Arriaga C. Las mulas y caballos de trabajo en sistemas de producción campesinos del altiplano central de México: el caso de una comunidad mazahua del Estado de México. Memorias del 3er Coloquio Internacional Sobre Equidos de Trabajo; 1998 octubre 5-9; Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia UNAM (Distrito Federal) México. México (Distrito Federal): Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia UNAM, 1998: 239-247.
11. McDonald P, Edwards RA, Greenhalgh JFD, Morgan CA. Animal Nutrition. 6<sup>th</sup> ed. Edimburgh: Prentice Hall, 2002.
12. Jeremy J. The nutrition of working horses in developing countries. Memorias del 3er Coloquio Internacional Sobre Equidos de Trabajo; 1998 octubre 5-9; Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia UNAM (Distrito Federal) México. México (Distrito Federal): Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia UNAM, 1998: 281-285.

13. Zallam MS. Determination of the nutrient requirements of working horses. Memorias del "Fourth International Colloquium on Working Equines"; 2002 april 20-26; Al Baath University (Hama) Siria. London (UK): SPANA, 2003: 271-283.
14. Demment MW, Greenwood GB. Forage ingestion: Effects of sward characteristics and body size. *Journal of Animal Science* 1988; 66: 2380-2390.
15. Illius AW, Jessop NS, Gill M. Mathematical models of food intake and metabolism in ruminants. In: Cronjé PB, editor. *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction*. Wallingford: CABI Publishing, 2000: 21-39.
16. Cuddeford D. A comparison of energy feeding systems for horses. In: Julliand V, Martin-Rosset W, editors. *Nutrition of the Performance Horse*. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 2004: 79-88.
17. Aiken GE, Potter GD, Conrad BE, Evans JW. Voluntary intake and digestion of Coastal Bermuda grass hay by yearling and mature horses. *Equine Veterinary Science* 1989; 9: 262-264.
18. Frape D. *Equine Nutrition and Feeding*. 2<sup>nd</sup> ed. London: Blackwell Science Ltd, 1998.
19. Cuddeford D. Voluntary food intake by horses. Julliand V, Martin-Rosset W. In: Julliand V, Martin-Rosset W, editors. *Nutrition of the Performance Horse*. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 2004: 89-100.
20. Cuddeford D. Feeding Systems for Horses. In: Theodorou MK, France J, editors. *Feeding Systems and Feed Evaluation Models*. Wallingford: CABI Publishing, 1999: 239-273.
21. Kleiber M. *The Fire of Life*. New York: John Wiley and Sons Inc, 1961.

22. Blaxter KL. The energy metabolism of ruminants. London: Hutchison & Co. Ltd, 1962.
23. Thonney ML, Touchberry RW, Goodrich RD, Meiske JC. Intraspecies relationship between fasting heat production and body weight: A re-evaluation of  $W^{0.75}$ . *Journal of Animal Science* 1976; 43: 692-704.
24. Pagan JD, Hintz HF. Equine energetics. 1. Relationships between bodyweight and energy requirements in horses. *Journal of Animal Science* 1986; 63: 815-821.
25. 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.
26. 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.
27. Pearson RA. Resource requirements for draught animal power. In: Gill M, Owen E, Pollot GE, Lawrence TLJ, editors. *Animal Production in Developing Countries*. Occasional Publication No 16. United Kingdom: British Society of Animal Production, 1993: 57-67.
28. Pérez R, Valenzuela S, Merino V, Cabezas L, García M, Bou R, Ortiz P. Energetic requirements and physiological adaptation of draught horses to ploughing work. *Animal Science* 1996; 63: 343-351.
29. Nengomasha EM. Recent developments in animal husbandry relevant to working equines. *Memorias del "Fourth International Colloquium on Working Equines"*; 2002 april 20-26; Al Baath University (Hama) Siria. London (UK): SPANA, 2003: 27-37.

30. Lawrence PR, Buck SF, Campbell I. The metabolic rate of oxen after work. Proceedings of the Nutrition Society 1989; 48: 153A.
31. Geor R. New methods for assessing substrate utilization in horses during exercise. World Equine Veterinary Review 2000; 5 (4): 14-21.
32. Lawrence PR, Stibbards RT. The energy costs of walking, carrying and pulling loads on flat surfaces by Brahman cattle and swamp buffalo. Animal Production 1990; 50: 29-39.
33. Dijkman JT. A note on the influence of negative gradients on the energy expenditure of donkeys walking, carrying and pulling loads. Memorias del Coloquio "Donkeys, mules and horses in tropical agricultural development"; 1990 september 3-6; Edimburgh (Scotland) United Kingdom. Edimburgh (Scotland): Alexander Ritchie & Son Ltd, 1991: 221-222.
34. Prasad VL, Marovanidze K, Nyathi P. The use of donkeys as draught animals relative to bovines in the communal farming sector of Zimbabwe. Memorias del Coloquio "Donkeys, mules and horses in tropical agricultural development"; 1990 september 3-6; Edimburgh (Scotland) United Kingdom. Edimburgh (Scotland): Alexander Ritchie & Son Ltd, 1991: 231-239.
35. Cowell PA, Hortiz-Laurel H. Experiments on the biomechanics of a working equine. A comparison of the energy requirements for work in donkeys, ponies and cattle. Memorias del "Second International Colloquium in Working Equines": 1994 april 20-22; Rabat (Marruecos). Rabat (Marruecos): Actes Éditions, 1994: 199-212.
36. Nengomasha EM, Pearson RA, Smith T. The donkey as a draught power resource in smallholder farming in semi-arid western Zimbabwe. 2.

- Performance compared with that of cattle when ploughing on different soil types using two plough types. *Animal Science* 1999; 69: 305-312.
37. Yousef MK. Energy cost of locomotion in the donkey. *Memorias del Coloquio "Donkeys, mules and horses in tropical agricultural development"*; 1990 september 3-6; Edimburgh (Scotland) United Kingdom. Edimburgh (Scotland): Alexander Ritchie & Son Ltd, 1991: 220.
  38. Dijkman JT. A note on the influence of negative gradients on the energy expenditure of donkeys walking, carrying and pulling loads. *Animal Production* 1992; 54: 153-156.
  39. Kerr MG, Munro CD, Snow DH. Equine sweat composition during prolonged heat exposure. *Journal of Physiology* 1980; 307: 52-53.
  40. Carlson GP. Fluid and electrolyte disturbances. In: Siegal M, editor. *Book of horses*. USA: Harper Collins Publishers, 1996: 241-244.
  41. McCutcheon LJ, Geor RJ. Sweating: Fluid and ion losses and replacement. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice* 1998; 14: 75.
  42. Yousef MK, Dill DB, Mayes MG. Shifts in body fluids during dehydration in the burro, *Equus asinus*. *Journal of Applied Physiology* 1970; 29: 345-349.
  43. Yousef MK. Physiological responses of the donkey to heat stress. *Memorias del Coloquio "Donkeys, mules and horses in tropical agricultural development"*; 1990 september 3-6; Edimburgh (Scotland) United Kingdom. Edimburgh (Scotland): Alexander Ritchie & Son Ltd, 1991: 96.
  44. Sneddon JC, Walt J van der, Mitchel G. Water homeostasis in desert dwelling horses. *Memorias del Coloquio "Donkeys, mules and horses in tropical agricultural development"*; 1990 september 3-6; Edimburgh (Scotland) United Kingdom. Edimburgh (Scotland): Alexander Ritchie & Son Ltd, 1991: 97.

45. Cohen ND, Roussel AJ, Lumsden JH, Cohen AC, Grift E, Lewis C. Alterations of fluid and electrolyte balance in Thoroughbred racehorses following strenuous exercise during training. *Canadian Journal of Veterinary Research* 1993; 57: 9-13.
46. Andrews FM, Ralston SL, Sommardhal CS, Maykuth PL, Green EM, White SL, Williamson LH, Holmes CA, Geiser DR. Weight, water and cation losses in horses competing in a three-day event. *Journal of the American Veterinary Association* 1994; 205: 721-724.
47. Hintz HF. Salt requirements for maintenance. *Equine Practice* 1998; 20 (9): 1.
48. Hintz HF. Electrolytes for performance horses. *Equine Practice* 1998; 20 (8): 5.
49. Aluja AS de, Bouda J, Tapia PG, Chavira SH, López CA, Herrera GS. Estudio de valores bioquímicos en sangre de burros antes y después del trabajo. *Memorias del 3er Coloquio Internacional Sobre Equidos de Trabajo*; 1998 octubre 5-9; Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia UNAM (Distrito Federal) México. México (Distrito Federal): Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia UNAM, 1998: 117-124.
50. Técuatl EAP, Ochoa P, Aluja AS de. A comparative study of biochemical values in donkeys and horses before and after work. *Memorias del "Fourth International Colloquium on Working Equines"*; 2002 april 20-26; Al Baath University (Hama) Siria. London (UK): SPANA, 2003: 309-311.
51. Pearson RA. Effects of exercise on digestive efficiency in donkeys given ad libitum hay and straw diets. *Memorias del Coloquio "Donkeys, mules and horses in tropical agricultural development"*; 1990 september 3-6; Edimburgh

- (Scotland) United Kingdom. Edimburgh (Scotland): Alexander Ritchie & Son Ltd, 1991: 79-85.
52. Mueller PJ, Hintz HF, Pearson RA, Lawrence PR, Van Soest PJ. Voluntary intake of roughage diets by donkeys. A comparison of the energy requirements for work in donkeys, ponies and cattle. Memorias del “Second International Colloquium in Working Equines”: 1994 april 20-22; Rabat (Marruecos). Rabat (Marruecos): Actes Éditions, 1994: 137-149.
53. Tisserand JL, Faurie F, Toure M. A comparative study of donkey and pony digestive physiology. Memorias del Coloquio “Donkeys, mules and horses in tropical agricultural development”; 1990 september 3-6; Edimburgh (Scotland) United Kingdom. Edimburgh (Scotland): Alexander Ritchie & Son Ltd, 1991: 67-72.
54. Pearson RA, Merrit JB. Intake, digestion and gastrointestinal transit time in resting donkeys and ponies and exercised donkeys given ad libitum hay and straw. Equine Veterinary Journal 1991; 23: 339-343.
55. Hernández-Gil M. Desarrollo de un modelo conceptual para la simulación dinámica, mecánica del consumo voluntario de bovinos en pastoreo en los trópicos (tesis de maestría). Mérida (Yucatán) México: Universidad Autónoma de Yucatán, 2002.
56. Crozier JA, Allen VG, Jack NE, Fontenot JP, Cochran MA. Digestibility, apparent mineral absorption and voluntary intake by horses fed alfalfa, tall fescue and caucasian bluestem. Journal of Animal Science 1997; 75: 1651-1658.

57. Dulphy JP, Martin-Rosset W, Dubroeuq H, Ballet JM, Detour A, Jailler M. Compared feeding patterns in *ad libitum* intake of dry forages by horses and sheep. *Livestock Production Science* 1997; 52: 49-56.
58. Dulphy JP, Martin-Rosset W, Dubroeuq H, Jailler M. Evaluation of voluntary intake of forage trough-fed to light horses. Comparison with sheep. Factors of variation and prediction. *Livestock Production Science* 1997; 52: 97-104.
59. Pagan JD. Digestibility trials provide evaluation of feedstuffs. *Feedstuffs* 1994; 66: 14-15.
60. Kronfeld DS. Dietary fat affects heat production and other variables of equine performance under hot and humid conditions. *Equine Veterinary Journal* 1996; 22:24-34.
61. Janis C. The evolutionary strategy of the equidae and the origins of rumen and catcall digestion. *Evolution* 1976; 30: 757-774.
62. Tisserand JL. Microbial digestion and its consequences for feeding in the horse. *Memorias del Coloquio "Donkeys, mules and horses in tropical agricultural development"*; 1990 september 3-6; Edimburgh (Scotland) United Kingdom. Edimburgh (Scotland): Alexander Ritchie & Son Ltd, 1991: 73-78.
63. Smith AJ. The working equine – what we can learn from research with other animals used for draught purposes. *Memorias del Coloquio "Donkeys, mules and horses in tropical agricultural development"*; 1990 september 3-6; Edimburgh (Scotland) United Kingdom. Edimburgh (Scotland): Alexander Ritchie & Son Ltd, 1991: 211-219.
64. Fielding D. Appropriate extension methods for equine users. *Memorias del Coloquio "Donkeys, mules and horses in tropical agricultural development"*;

- 1990 september 3-6; Edimburgh (Scotland) United Kingdom. Edimburgh (Scotland): Alexander Ritchie & Son Ltd, 1991: 300-3005.
65. Pritchard J. Recent developments in animal health: approaches to complex health issues in urban working equines. Memorias del “Fourth International Colloquium on Working Equines”; 2002 april 20-26; Al Baath University (Hama) Siria. London (UK): SPANA, 2003: 38-43.
66. MacFadden BJ, Solounias N, Cerling TE. Ancient diets, ecology, and extinction of 5-million-year-old horses from florida 1999; 283: 284-827.
67. Marlin D, Nankervis K, Equine Exercise Physiology, Blackwell Publishing, UK. 2002.
68. MacFadden BJ. Equine dental evolution: perspective from the fossil record. In: Baker GJ, Easley J. Equine Dentistry. 2<sup>nd</sup> Edition. China: Elsevier Saunders, 2005: 1-7.
69. Frape D. Truck M.G., Sutcliffe N.H., Jones, D.B. The use of inert markers in the measurement of the digestibility of cubed concentrate and of hay given in several proportions to the pony horse and white rhinoceros (*Diceros simus*). Comparative Biochemistry Physiology. 1982; 72A: 77-83.
70. Sissons S & Grossman J D (1961) The anatomy of the domestic animals. W B Saunders: Philadelphia & London.
71. John Kohnke, Frank Kelleber, Penny Trevor-Jones, (1989) Feeding Horses in Australia . Rural Industries Research & Development Corporation.
72. The Donkey Sanctuary by Dr Elisabeth D. Svendsen, M.B.E. Foreword by Lord Soulsby, (1997) The Professional Handbook of the Donkey, Whittet Books Limited, 18 Anley Road London W14 OBY.
73. <http://ww.cursur.udg.mx/vet/digestivo.doc>

74. Ronald J Riegel D.V.M., Susan E. Hakola, Illustrated Atlas of Clinical Equine Anatomy and Common Disorders of the Horses Vol 2 Equistar Publications, Ltd Marysville, Ohio U.S.A. 1999: 172-200.
75. Tony J. Cunha. Horse Feeding and Nutrition, Department of Animal Science School of Agriculture California State Polytechnic University Pomona, California, ACADEMIC PRESS 1991.
76. D. Sauvant, J. M. Perez y Tran, Tablas de composición y valor nutritivo de las materias primas destinadas a los animales de interés ganadero, INRA, Edit. Mundi-Prensa, México 2004.
77. NRC. Nutrient Requirements of Horses, (5th Revised Edition), National Academy of Science, Washington D.C. 1989.
78. Elias Taylor Bandala, Evaluación de las características nutricias de los alimentos mas comúnmente empleados en la alimentación animal en México. Tesis para licenciatura. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. 1988.
79. Underwood, E.J. The mineral nutrition of livestock. 3<sup>rd</sup> Ed. CABI Publishing. Wallingford, U.K. 1999, 624 pp.
80. Corley KTT, Marr CM. Pathophysiology, assessment and treatment of acid-base disturbances in the horse. Equine Veterinary Education 1998, 10 (5): 255-265.
81. [http://4h.ifas.ufl.edu/Curriculum/projects/animal\\_sci/HS\\_pdfs/HSM11/hsm11\\_ch7.pdf](http://4h.ifas.ufl.edu/Curriculum/projects/animal_sci/HS_pdfs/HSM11/hsm11_ch7.pdf)
82. [http://www.blueseal.com/techtalks/evaluating\\_carbohydrates\\_in\\_equine\\_nutrition.htm](http://www.blueseal.com/techtalks/evaluating_carbohydrates_in_equine_nutrition.htm)

83. Asp, N-G. Classification and methodology of food carbohydrates as related to nutritional effects. *American Journal of Clinical Nutrition*. 1995. 61 (Supl): 930s-937s.
84. Moore, K.J.; Hatfield, R.D. Carbohydrates and forage quality. En: Fahey, G.C.; Collins, M.; Mertens, D.R.; Moser, L.E. (Eds.) *Forage quality evaluation and utilization*. Printed by The American Society of Agronomy, Inc. U.S.A. 1994.
85. Van Soest, P.J.; Robertson, J.B.; Lewis, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 1991. 74: 3583 – 3597.
86. Chinachoti, P. Carbohydrates: functionality in foods. *American Journal of Clinical Nutrition*. 1995. 61 (suppl): 922s-929s.
87. Paniagua, R.; Nistal, M.; Sesma, P.; Alvarez-Uría, M.; Fraile, B. *Citología e histología vegetal y animal*. Interamericana-McGraw-Hill. Madrid, España. 1993. 807 pp.
88. Van Soest, P. J. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. O & B Books, 1215 NW Kine Place Corvallis, Oregon, USA, 1982. 374 pp.
89. Pearson, R.A.; Archibald, R.F.; Muirhead, R.H. The effect of forage quality and level of feeding on digestibility and gastrointestinal transit time of oat straw and alfalfa given to ponies and donkeys. *British Journal of Nutrition*, 2001 85: 599-606.
90. Cuddenford D, Pearson RA, Archibald RF y Muirhead RH. Digestibility and gastrointestinal transit time of diets containing different proportions of alfalfa and oat straw given to Thoroughbreds, Shetland ponies, Highland ponies, and donkeys. *Animal Science* 1995; 61: 407-417.

91. Jung, H.G.; Allen, M.S. Characteristics of cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. *Journal of Animal Science*.1995. 73: 2774-2790.
92. J.W. Schroeder, Interpreting Composition and Determining Market Value Quality Forage. *Extension Dairy Specialist*. 2004, AS- 1251, June.
93. <http://crop.scijournals.org/cgi/content/full/39/5/1265>
94. Murray R.K., Mayes P.A., Granner D.K. Rodwell V.W. *Bioquímica de Harper*, Edit. Manual Moderno, México, 1998.
95. Lewis LD. *Equine clinical nutrition: feeding and care. Williams and Wilkins*. Media, PA, USA. 1995.
96. D.C. Church. *Fundamentos de la Nutrición y Alimentación de los Animales*, Edit. Noriega, 1994, 65-267.
97. Broderick, G.A. Desirable characteristics of forage legumes for improving protein utilization in ruminants. *Journal of Animal Science*. 1995. 73: 2760-2773.
98. <http://www2.dpi.qld.gov.au/dairy/13598.html>
99. <http://www.asft.ttu.edu/cfire/databases/horse.html>
100. Gutiérrez, F.G.A. Estudios sobre la producción y valor nutritivo del pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) en época de invierno y bajo riego en la zona henequenera de Yucatán. Tesis Maestría. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México. 1986. 156 pp.
101. Escobedo, M.J.G. Estudios agronómicos y valor nutritivo del pasto guinea (*Panicum maximum*) en la zona ganadera del estado de Yucatán. *Tesis*

*Maestría*. Mérida, Yucatán, México. Univesidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. 1989.

102. Potter G. Protein 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 Netherlands, 2004. pp: 149-156.
103. Hintz HF, Hogue DE, Walker EF Jr, Lowe JE, Schryver HF, Apparent digestion in various segments of the digestive tract of ponies fed diets with varying roughage-grain rations. *Journal of Animal Science* 1971; 32: 245-248.
104. Beever, D.E. Rumen function. En: Forbes, J.M.; France, J. Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism. 1<sup>a</sup> Ed. CABI Publishing. Wallingford, U.K. 1993.
105. Romney, D.L.; Gill, M. Intake of Forages. En: Givens, D.I.; Owen, E.; Axford, R.F.E.; Omed, H.M. (Eds). Forage evaluation in ruminant nutrition. CABI Publishing. Wallingford, U.K. 2000
106. Ketelaars, J.J.M.H.; Tolkamp, B.J. Towards a new theory of feed intake regulation in ruminants. PhD Thesis. Agricultural University Wageningen, Wageningen, The Netherlands.1991, 254 pp.
107. Calder, W.A. III. Size, function and life history. Harvard University Press, Cambridge. 1984.
108. Webster, A.J.F. Bioenergetics, bioengineering and growth. *Animal Production*. 1989. 48: 249-269.
109. Forbes, J.M. Voluntary food intake and diet selection in farm animals. CABI Publishing.. Wallingford, UK. 1995.

110. Ulyatt, M.J. The feeding value of temperate pastures. Cap. 7. En: Morley, F.W.H. (Ed.) Grazing animals. De: Neiman-Sorensen, A.; Tribe, D.E. (Pub.) World Animal Science. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam, The Netherlands. Tomo 1; Serie B; 1981 pp: 125-141.
111. Paterson, J.A.; Belyea, R.L.; Bowman, J.P.; Kerley, M.S.; Williams, J.E. The impact of forage quality and supplementation regimen on ruminant animal intake and performance. En: Fahey, G.C.; Collins, M.; Mertens, D.R.; Moser, L.E. Forage quality evaluation and utilization. Printed by The American Society of Agronomy, Inc. U.S.A. 1994.
112. Pearson, C.J. e Ison, R.L. Agronomy of grassland systems. 2<sup>nd</sup> Edition. Cambridge University Press. Cambridge, U.K. 1997.
113. Madsen, J.; Hvelplund, T.; Weisbjerg, M.R. Appropriate methods for the evaluation of tropical feeds for ruminants. Animal Feed Science and Technology. 1997. 69: 53-66.
114. Minson, D.J. Nutritional differences between tropical and temperate pastures. Cap.: 8. En: Morley, F.W.H. (Ed.) Grazing animals. De: Neiman-Sorensen, A.; Tribe, D.E. (Pub.) World Animal Science. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam, The Netherlands. 1981. Tomo 1; Serie B; pp: 143-157.
115. Gibbs PG, Potter GD, Schelling GT. Digestion of hay protein in different segments of the equine digestive tract. Journal of Animal Science. 1988 66: 400-406.
116. Farley EB, Potter GD, Gibbs PG, Schumacher J, Murria-Gerzik M. Digestion of soybean meal protein in the equine small and large intestine at

varying levels of intake. *Journal of Equine Veterinary Science* 1995; 15 (9):391-397.

117. Potter G. Digestible energy requirements 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 Netherlands, 2004. pp. 17-21.
118. M. Vermorel, W. Martin-Rosset, Energy Utilization of two Diets For Maintenance by Horses; Agreement with the New French Net Energy System, *Equine Nutrition and Physiology Society*, 1991. 11, 1, 33-35.
119. Martin-Rosset W, Vermorel, M Evaluation and expression of energy allowances and energy value of feeds 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.
120. 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.
121. Webster, A.J.F., J.S.Smith, and G.Mollison. On the prediction of heat production in growing cattle. *Energy Metab. Proc. Symp.* 1976, 29:221–224.
122. Orskov, E.R. & MacLeod, N.A. Dietary-induced thermogenesis and feed evaluation in ruminants. *Proceedings of the Nutrition Society*, 1990, 49, 227-237.

123. Vernet J, Vermorel M, Martin-Rosset W. Energy cost of eating long hay, straw and pelleted food in sport horses. *Journal of Animal Science*. 1995. 61: 581-588.
124. Argenzio RA, Hintz HF. Effects of diets on glucose entry and oxidation rates in ponies. *Journal of Nutrition* 1972. 102: 879-892.
125. Martin-Rosset W, Tisserand JL. Evaluation and expression of protein allowances and protein value of feeds in de MADC system for the performance horse. En: Julliand V, Martin-Rosset, W (Ed.) *Nutrition of the performance horse*. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands, 2004. Pp: 103-140.
126. Gibbs PG, Potter GD, Schelling GT, Kreider JL, Boyd CL. The significance of small vs. large intestinal digestion of cereal grain and oilseed protein in the equine. *Journal of Equine Veterinary Science* 1996. 162 (2): 60-73.
127. Jarrige, R. and Tisserand, J. L. Metabolisme, besoins et alimentation azotée du cheval. Chapter 18. In : R Jarrige, W. Martin-Rosset Editors. *Le Cheval Reproduction, Selection, Alimentation, Exploitation*. R. Jarrige et W. Martin-Rosset Editors. INRA Editions Route de St Cyr, 78000 Versailles 1984. pp 277-302.
128. Mc Meniman NP, Elliot R, Groenendyk S, Dowsetf KF. Synthesis and absorption of cysteine from the hindgut of the horse. *Equine Veterinary Journal*. 1987. 19: 192-194.
129. Frank, N.B., Meachyam, T.N., Easley, K.J. and Fontenot, J.P. The effect by-passing the small intestine on nutrient digestibility and absorption in

- the pony. In 8<sup>th</sup> Eq. Nutr. Phys. Symp. Lexington KY. USA 1983, p. 243-248.
130. Martin-Rosset W, Dulphy JP. Digestibility. Interactions between forages and concentrates in horses: influences of feeding level. Comparison with sheep. *Livestock Production Science*. 1987. 17: 263-276.
  131. Meyer, H Radicke, S.Kienzle, E. Wilke, S. Investigations on pre-ileal digestion of oats, corn, and barley starch in relation to grain processing 13<sup>th</sup> Symposium Equine nutrition Physiology, 21-23.01.1993, Florida Proceedings 43-48.
  132. 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.
  133. Potter GD, Webb SP, Evans JW, Webb GW. Digestible energy requirements for work and maintenance of horses fed conventional and fat-supplemented diets. *Journal of Equine Veterinary Science*. 1990. 10 (3): 214-225.
  134. Doherty O, Booth M, Waran N, Salthouse C, Cuddeford D. Study of the heart rate and energy expenditure of ponies during transport. *Veterinary Record*. 1997. 141: 589-592.
  135. Cabrera L, Tisserand JL. Effet du rythme de distribution et de la forme de distribution d'un régime paille concentrée sur l'aminoacidémie chez le poney. *Annales de Zootechnie* 1995. 44 : 105-114.
  136. Robinson DW, Slade LM. The current status of knowledge on the nutrition of Equines. *Journal of Animal Science* 1974. 39: 1045-1066.

137. Coenen M. Evaluating the protein requirements of horses: The German system for digestible crude protein. En: Julliand V, Martin-Rosset, W (Ed.) Nutrition of the performance horse. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands, 2004. Pp: 143-147.
138. Austbo D. Evaluating the protein requirements of performance horses: A comparison of practical application of different systems. En: Julliand V, Martin-Rosset, W (Ed.) Nutrition of the performance horse. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands, 2004. Pp: 157-158.
139. Costill DL, Hargreaves M. Carbohydrate nutrition and fatigue. Sports Medicine 1992. 13 (2): 86
140. Friedman JE, Neuler PD, Dohm GL. Regulation of glycogen re-synthesis following exercise. Sports Medicine. 1991. 11 (4): 232
141. Meyer, H. Nutrition of the equine athlete. In: Proceedings 2<sup>nd</sup> Equine Exercise Physiology Symposium, Gilleosie J.P., Robinson N.E. Editors. ILEEP Publications. Davis, USA 1987, pp 644.
142. Freer, M. (1981). The control of food intake by grazing animals. Cap.: 6. En: Morley, F.W.H. Grazing animals. 1. B. De: Neiman-Sorensen, A.; Tribe, D.E. World Animal Science. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam, The Netherlands.
143. Welch, J.G.; Hooper, A.P. Ingestion of feed and water. En: Church, D.C. The ruminant animal. Digestive physiology and nutrition. Prentice Hall. New Jersey, U.S.A. 1988.
144. Houpt, T.R., and Houpt, K. Nitrogen conservation by ponies fed a low-protein ration Am. J. Vet. Res., 1982, 32: 579-588.

145. Emmans, G.C. A method to predict the food intake of domestic animals from birth to maturity as a function of time. *Journal of Theoretical Biology*. 1997. 186: 189-199.
146. Anrique, R.G.; Thonney, M.L.; Ayala, H.J. Dietary energy losses of cattle influenced by body type, size, sex and intake. *Animal Production*. 1990. 50: 467-474.
147. Kleiber, M. *Bioenergética animal*. Acribia. Zaragoza, España. 1972.
148. Rodiek A. Hay for horses: alfalfa ort grass? Proceedings of the 31<sup>st</sup> California Alfalfa & Forage Symposium. 12-13 December, 2001 Modesto, California UC Cooperative Extension, University of California, Davis.
149. [http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/94Cap\\_XII.pdf#search](http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/94Cap_XII.pdf#search)
150. Kienzle E. The German system (digestible energy). En: Julliand V, Martin-Rosset, W (Ed.) *Nutrition of the performance horse*. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands, 2004. Pp: 23-28.
151. Zeyner A, Kienzle E. A method to estimate digestible energy in horse feeds. *Journal of Nutrition* 2002. 132: 1771 S – 1773 S.
152. McLean BML, Hyslopp JJ, Longland AC, Cuddeford D, Hollands T. 2000. Physical processing of barley and its effects on intra-caecal fermentation parameters in ponies. *Animal Feed Science and Technology* 85: 1-2, 79-87.
153. Pagan, J.D., P, Harris. *The Effect of Exercise on the Digestibility of an All Forage or Mixed Diet in Throroughbred Horses*, Kentucky Equine Research, Inc. Versailles KY 40383, 1996. 128- 132

154. Cymabaluk, N.F. Comparison of forage digestion by cattle and horses. Canadian Journal of Animal Science, 1990, 70: 601-610.
155. Harris P. Energy sources and requirements of the exercising horse, Annual Reviews Nutrition 1997. 17:185-210.
156. <http://horse.purinamills.com/>
157. Ralston, S.L. Controls of feeding in horses. Journal of Animal Science. 1984, 59: 1354-1361.
158. Potter, G.D ; J. W. Evans, G. W. Webb, and S. P. Webb. Digestible energy requirements of Belgian and Percheran horses. P. 133 in Proc. 10th Eq. Nutr. Physiol. Soc. Symp. Fort Collins, Colorado State University, 1987.
159. 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, Exploitation. INRA Publications, Route de St. Cyr, 87000 Versailles. Pp. 239-276.
160. Ott, E.A., Dietary Nutrient Allowances for Horses, Feedstuffs, Department of Animal Science University of Florida, 1983, 55(30): 76-78.
161. Brody, S. Bioenergetics and growth. Hafner Publishing Corporation. New York, 1945, 1023pp.
162. Pearson, R.A. Draft Animal Power. In: Encyclopaedia of Agricultural Science, 1994, Vol 1, pp. 613-623 Academic Press, California, USA.
163. <http://www.completerider.com/buyinghay.htm>,

164. Sosa-León LA, Rose RJ. Fluid and electrolyte abnormalities: The role of exercise and oral fluids. En: Watson TDG (Ed). Metabolic and endocrine problems of the horse. W B Saunders. Cambridge, GB. 1998. Pp: 166-184.
165. Nadia, F., Cymbaluk, D.V.M., M. Sc., Water Balance of Horses Fed Various Diets, Equine Practice, University of Saskatchewan. January 1989, Vol. 11, 1. pp. 19-24.
166. Georgievskii, V.I., Mineral Nutrition Animal. Studies in the agricultural and food science, Butterworths, London. 1980.
167. Hoyt JK, Potter GD, Greene LW, Vogelsang MM, Anderson JG. Electrolyte balance In exercising horses fed a control and a fat-supplemented diet. Journal of Equine Veterinary Science. 1995, 15 (10): 429-435.
168. Wilkins RJ. Forages and their role in animals systems. In: Gives DI Owen E, Axford RFE, Omed HM (Eds.). Forage evaluation in ruminant nutrition. CABI Publishing. Wallingford, UK. 2000.
169. Siegal M. Book of horses. HaperCollins Publishers. California, USA. 1996.
170. <http://www.patentstorm.us/patents/5505968.html>
171. <http://www.omafra.gov.on.ca/english/%20livestock/horses/facts/05-055.htm>
172. Troncoso A. H., Meza A. M. La calidad de los forrajes. México ganadero, Sep 2001. pp. 16-23.
173. [www.forages.psu.edu/agfacts/agfact32.pdf](http://www.forages.psu.edu/agfacts/agfact32.pdf)

174. <http://www.traill.uiuc.edu/pasturenet/paperDisplay?ContentID=8139>
175. <http://www.umext.maine.edu/onlinepubs/PDFpubs/1006.pdf>
176. <http://www.noble.org/ag/Forage/HorseForage/page13.html>
177. <http://www.canr.uconn.edu/ansci/ext/hayanalysis.htm>
178. <http://www.pubs.caes.uga.edu/caespubs/pubcd/B1224.htm>
179. [http://fermat.nap.edu/openbook.php?record\\_id=1398&page=128](http://fermat.nap.edu/openbook.php?record_id=1398&page=128)
180. <http://www.horsehage.co.uk/2005/guideTOforage.html>
181. [http://www.dayvillesupply.com/doc/hay\\_purina.htm#](http://www.dayvillesupply.com/doc/hay_purina.htm#)
182. <http://www.equidiet.com.ar/pb/rd.php/sections/show>
183. [http://glsdogs.com/catalog/alimento\\_caballos.php](http://glsdogs.com/catalog/alimento_caballos.php)
184. [http://www.ext.vt.edu/news/periodicals/livestock/aps-06\\_10/aps-373.html](http://www.ext.vt.edu/news/periodicals/livestock/aps-06_10/aps-373.html)
185. Fonnesbeck, P.V. Estimating digestible energy and TDN for horses with chemical analyses of feeds. J. Anim. Sci. 1981, 53(Suppl. 1):241
186. [http://www4.cajamar.es/servagro/fertilizacion/tabla\\_equi/tabla\\_equiva.htm](http://www4.cajamar.es/servagro/fertilizacion/tabla_equi/tabla_equiva.htm)