

ENERGIA DIGESTIBLE Y METABOLIZABLE DE LAS PAJAS DE LEGUMINOSAS PARA LOS OVIDOS

por Francisco Javier Ovejero Martínez

I.—INTRODUCCION Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En el transcurso de los últimos 15-20 años, la población ovina mundial ha experimentado un aumento del 34,7 por 100 lo que supone un incremento anual medio del 2 por 100. El promedio de ovejas durante el período 1946-50 se estimaba en 687 millones de cabezas; al final del pasado año el censo ovino mundial era de 926 millones.³¹

En Europa, España ocupa el segundo lugar en cuanto al número de cabezas de ganado lanar se refiere; de acuerdo con el último Censo de la Ganadería Española,²⁴ el número de cabezas en nuestro país se eleva a 19.868.125.

El informe del Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento ⁴⁰ señala claramente que el aumento de la producción del ganado lanar constituye uno de los puntos capitales para el desarrollo de la Agricultura española. Análogamente, en el Proyecto de Desarrollo de la Región Mediterránea, publicado por la F. A. O. se señala el interés y las posibilidades que España tiene en este sector.⁵⁷

El aumento en el rendimiento del ganado lanar tiene como base indiscutible dos presupuestos básicos: garantizar una alimentación adecuada durante todo el año y mantener un estado sanitario tal que dejen de producirse las enormes pérdidas que anualmente aquejan a esta especie. La gravedad de estos problemas se pone de manifiesto al considerar que el Censo ovino español se encuentra sujeto a enormes variaciones según los años agrícolas y las condiciones climatológicas. Estas variaciones anuales representan a veces 3.000.000 de cabezas.

La especie ovina, explotada en nuestro país en sistema extensivo o semiextensivo, atraviesa a lo largo del año por períodos de abundancia seguidos por otros de extraordinaria penuria, según la estación y las condiciones climatológicas.

Sin embargo el invierno representa con seguridad y regularidad el período más duro para la especie, desde el punto de vista nutritivo. La alimentación en este período es a nuestro juicio el «factor limitante» de su productividad y de la mejora zootécnica.

Existen numerosas posibilidades de enfocar el problema: los cultivos de invierno, los diversos métodos de conservación de los forrajes, la mejor utilización de los recursos tradicionales, etc. En esta última es en la que hemos centrado nuestro trabajo. Desde hace siglos las pajas de leguminosas constituyen uno de los principales alimentos del ganado lanar estabulado por necesidad. A pesar de ello son muy pocos los trabajos científicos que proporcionan datos sobre su valor nutritivo y el de otros productos y subproductos de nuestra agricultura.

No es necesario destacar la importancia que tiene el disponer de datos propios de composición de alimentos para poder realizar un racionamiento correcto. Actualmente para proceder a la elaboración de las raciones de nuestros animales nos vemos en la necesidad de recurrir al empleo de tablas extranjeras, las cuales naturalmente se refieren muchas veces a productos distintos, o cuando menos a variedades diferentes, producidas en otros suelos y bajo otras condiciones climatológicas. El problema se agrava en sustancias que, como nuestras pajas de leguminosas, son desconocidas en muchos de los países que han elaborado las tablas de composición, por lo que su valoración hay que hacerla por deducción a partir de alimentos semejantes.

Con el fin de contribuir a llenar estas lagunas en nuestra bibliografía, hemos planteado un estudio del contenido en energía digestible y metabolizable de las nueve pajas de leguminosas más importantes cultivadas en nuestro país.

II. REVISION BIBLIOGRAFICA.

II.1. Balances de energía.

El empleo del método de los balances es muy común en los estudios de fisiología y de nutrición, para comprobar la actividad de un determinado elemento, y nos suministra una información comparable a la que puede ser obtenida con el empleo de las técnicas de sacrificio, pero con la ventaja de que nos permiten trabajar con el animal vivo.

Normalmente los balances se clasifican en dos grandes grupos: «Balances de materia», en los cuales solamente se determinan sustancias que puedan ser pesadas o medidas, y «Balances de energía», en los que es preciso tener presente las pérdidas calóricas. Esta diferenciación es perfectamente útil para nuestros fines, aunque hoy día de acuerdo con los conocimientos actuales de física sea insostenible una diferenciación entre materia y energía.

Dentro de los balances de materia y teniendo en cuenta la complejidad de las determinaciones, los balances pueden ser divididos en balances de elementos que pueden ser efectuados sin necesidad de utilizar las cámaras de respiración, como sucede con los balances de los diferentes elementos minerales y los balances de nitrógeno, los cuales son de amplia utilización en los estudios de nutrición. En un grado superior de complejidad tenemos los balances gaseosos, como son los balances de oxígeno, carbono, etc., en los cuales se precisa del empleo de una cámara de respiración, con lo que la técnica se hace más compleja y también más costosa.

Los fisiólogos de hace cuatro siglos reconocieron ya que debían existir otras pérdidas en el organismo además de las heces y la orina, a las que denominaron «perspiración insensible». En este grupo de pérdidas iba incluido el anhídrido carbónico y el agua. BOUSSINGAULT, realizó lo que podríamos denominar el primer balance en el año 1839. El citado autor verificó el balance en una vaca que se encontraba recibiendo una ración que la mantenía en peso constante, determinando el contenido en carbono, nitrógeno, oxígeno y cenizas en el alimento, en las heces, en la orina y en la leche.

Los balances de energía nos son de una gran utilidad para poder llegar al conocimiento de las pérdidas o ganancias energéticas del organismo, con lo cual disponemos de una medida del estado de nutrición del animal, y al mismo tiempo podemos conocer el valor relativo de los diferentes alimentos como fuente de energía para el animal.

II.2. Calorimetría.

La vida de los diferentes organismos animales va acompañada de diversos cambios de energía, que fundamentalmente consisten en transformaciones de la energía química potencialmente contenida en los diferentes elementos orgánicos de la dieta: glúcidos, lípidos y proteínas. Esta energía potencial aparece bajo formas muy diversas y así la encontramos como energía calorífica en forma de calor corporal, energía mecánica bajo la forma de trabajo muscular, energía química contenida en los productos del organismo (leche, huevos, etc.), energía eléctrica, la cual en cantidades mínimas acompaña al trabajo muscular y a otras funciones orgánicas. No se puede afirmar ni negar la existencia de otras formas de energía.

Además de la energía química que en estado potencial es suministrada al organismo por los alimentos, existen otras fuentes de energía que pueden ser aprovechadas por el mismo, aunque cuantitativamente tienen una importancia muy inferior. Sabemos que la energía luminosa puede transformarse en el ojo en energía química, que el nervio óptico convierte en energía eléctrica; el oído puede transformar la energía sonora en energía mecánica, llegando a la producción de un impulso eléctrico; los receptores nerviosos existentes en la piel de los animales son capaces de reaccionar a la luz, al calor, a la presión y a la deformación mediante la producción de impulsos eléctricos. El organismo animal no es capaz de utilizar ni la energía mecánica ni la energía eléctrica, ni tampoco puede utilizar directamente la energía térmica, aunque en ocasiones ésta puede sustituir a la energía química en el proceso de la termorregulación. En el caso de los animales superiores la energía luminosa no es empleada más que en el caso concreto de la transformación de ciertos esteroides en sustancias antirraquíticas (LEROY).⁴⁵ En lo que se refiere a otros tipos de energía como sucede con la energía radiante, no se puede afirmar nada en lo que se refiere a su posible utilización por el organismo.

Toda esta serie de modificaciones energéticas que hemos visto pueden tener una gran importancia para la supervivencia del individuo, son cuantitativamente insignificantes cuando se las compara con las modificaciones sufridas por la energía química contenida en los alimentos; aspecto que es el que más nos interesa desde nuestro punto de vista y es sobre el que se han centrado los estudios de numerosos investigadores interesados en los problemas relacionados con el metabolismo energético del hombre y de los animales domésticos.

Una de las principales funciones del alimento ingerido por los animales es la de aportar la energía suficiente para el normal desarrollo de las diferentes funciones orgánicas. La mayor parte del alimento consumido es utilizado como combustible por el organismo (SWIFT).⁶⁶ La oxidación de los compuestos orgánicos de la dieta, lleva implicada la aparición de anhídrido carbónico y agua como productos finales, desprendiéndose una determinada cantidad de calor. El carbónico y el agua son eliminados, pues son productos que no representan ninguna utilidad para el organismo; el anhídrido carbónico es eliminado a través del pulmón durante la respiración. El agua en su mayor parte es eliminada por vía renal, aunque también puede eliminarse en cantidades considerables a través de la piel, del pulmón y con las heces. El calor liberado es utilizado para el mantenimiento de la temperatura corporal dentro de los límites normales de la especie, y es un factor de primordial importancia dentro del metabolismo energético. En el caso de que los animales no reciban alimento alguno, como sucede en el caso del ayuno, o bien que reciban una alimentación insuficiente, entonces el organismo recurre a la oxidación de sus propios tejidos, principalmente a sus reservas grasas, que es la forma en que normalmente se almacena la energía en el organismo animal, para mantener su temperatura dentro de los límites normales.

Aunque todos los elementos orgánicos de la dieta pueden utilizarse como fuente energética y esto sucede normalmente así, las proteínas son empleadas para la síntesis de nuevo material estructural del organismo, lo cual quiere decir que cuando faltan los lípidos y los hidratos de carbono en la ración, entonces el animal procede a la oxidación de la proteína con fines energéticos. La energía sobrante una vez atendidas todas las necesidades del organismo es almacenada fundamentalmente en forma de grasa corporal y en forma de glucógeno, que son los dos depósitos de energía del organismo.

El estudio de los cambios energéticos y de los factores que lo regulan, se conoce con el nombre de «bioenergética», la cual puede ser estudiada desde numerosos puntos de vista. Los bioquímicos que trabajan con material celular se ocupan en su mayor parte de los diversos pasos químicos por los que las moléculas son desdobladas o construidas en el organismo vivo. Los fisiólogos, normalmente, se encuentran interesados en los aspectos neuronales u hormonales de la bioenergética, como son por ejemplo el estudio de los complejos mecanismos homeostáticos que están encargados de la regulación de la temperatura corporal, o de la concentración de azúcar o cualquier otro metabolito en los distintos tejidos. El nutrólogo tiene un interés más amplio y al mismo tiempo más concreto, puesto que normalmente se ocupa del estudio de la predicción de las demandas energéticas del animal y de la capacidad de los distintos alimentos para

subvenir a estas necesidades. Esta multiplicidad de aspectos ha hecho posible el desarrollo de numerosas investigaciones llevadas a cabo en diferentes disciplinas, todas las cuales nos han proporcionado un conocimiento más profundo del problema, con lo cual ha sido posible la comprensión e integración de los diferentes aspectos estudiados.

Se comprueba una unificación de criterios producida durante los últimos veinte años sobre los aspectos bioquímicos de la bioenergética, para demostrar que los caminos finales de la disociación de los alimentos son prácticamente los mismos en su naturaleza, y que la mayor parte de la producción de energía en todas las células tiene lugar cuando se produce la reacción entre un coenzima reducido con el oxígeno molecular. Estos conceptos explican las modificaciones que se producen en el desprendimiento de calor por los animales como consecuencia de la ingestión de los alimentos. De forma análoga, estudios fisiológicos realizados en el área hipotálamica del cerebro han colaborado en gran parte al conocimiento de aspectos del metabolismo de la ingestión energética y el control de la temperatura corporal.

En el caso de los animales domésticos, el estudio del metabolismo energético nos ayuda a la resolución de numerosos problemas prácticos relacionados con la forma en que el ganado debe ser alimentado y explotado en unas determinadas condiciones ambientales y económicas para obtener el máximo posible de alimentos destinados al consumo humano. En esencia se trata de problemas de tipo práctico pero resolverlos de una forma que los resultados obtenidos puedan ser aplicados a una amplia serie de condiciones implica algo más que la realización de unas pruebas de tipo práctico; su estudio necesariamente nos obliga a utilizar pruebas y técnicas que entran dentro de los campos de la fisiología, de la química, de la bioquímica y de la física. El conocimiento obtenido en los experimentos fisiológicos y bioquímicos desarrollados en el laboratorio, son tan importantes como los datos obtenidos en la granja (BLAXTER).

Desde un punto de vista estrictamente bioquímico y de la nutrición, todas las razones parecen indicar que las necesidades calóricas de un animal son fundamentales y las necesidades de los otros nutrientes se encuentran ligadas a las mismas (BLAXTER).¹⁵

II.2.1. Unidades.

Debido al hecho de que todas las formas de energía pueden ser transformadas en energía calórica, (nosotros estamos fundamentalmente interesados en la energía química contenida en los alimentos) resulta conveniente el realizar el estudio del metabolismo energético en términos de energía calórica, para lo cual utilizamos unidades calóricas, siendo las más frecuentemente empleadas en los estudios de nutrición las siguientes:

a) «Caloría» (cal.). La caloría se define como la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua de 14,5 a 15,5 grados centígrados. Normalmente esta unidad resulta demasiado pequeña por lo que es preciso utilizar sus múltiplos: la kilocaloría (Kcal.) que equivale a 1.000 calorías, y la megacaloría (megal. o mcal.) que equivale a 1.000 Kcal. En los trabajos concernientes con el metabolismo energético a veces nos encontramos con el término «Therm», que es sinónimo de megacaloría; debido al confusionismo que su empleo puede originar, la mayoría de los investigadores se muestran de acuerdo en abandonar su empleo definitivamente.

b) «British Thermal Unit» (B. T. U.), esta unidad se define como la cantidad de calor que se necesita para elevar la temperatura de una libra de agua un grado Fahrenheit. Una B. T. U. equivale a 0,2520 Kcal, mientras que una Kcal. es igual a 3,968 B. T. U.

La unidad de referencia más comúnmente empleada en los diversos sistemas de energía es el «julio internacional». La definición de la caloría en términos de julios internacionales la libera de los posibles errores asociados con la determinación del calor específico del agua. Una caloría equivale a 4,1855 julios internacionales.

II.2.2. Técnicas calorimétricas.

El calor producido por la oxidación de un alimento, bien sea efectuada en el laboratorio o en el interior del organismo animal se mide mediante el empleo de técnicas calorimétricas. La determinación de los valores del calor de combustión de los diferentes elementos se lleva a cabo en la bomba calorimétrica, que es uno de los instrumentos de análisis más exactos de que se dispone en nutrición animal.

El estudio de los cambios energéticos del organismo se realiza mediante el empleo de las técnicas de calorimetría, de las cuales existen diversos tipos que iremos analizando y destacando sus ventajas e inconvenientes. Dentro de las técnicas de calorimetría existen dos grupos generales

que son los denominados: «calorimetría directa» y «calorimetría indirecta». Mediante la aplicación de las técnicas del primer grupo, se estudia y se determina el calor eliminado por el organismo en condiciones controladas, mientras que con el empleo de las técnicas de calorimetría indirecta se efectúa la determinación de la producción energética sin hacer referencia a las pérdidas calóricas como tales.

II.2.3. Calorimetría directa.

Calorímetros animales.

En un principio los calorímetros utilizados para determinar el calor producido por un animal estaban basados en el mismo principio general de la bomba calorimétrica, es decir, que el calor desprendido era utilizado para elevar la temperatura de un medio que rodeaba al animal en estudio. El primer calorímetro fue construido por LAVOISIER y LAPLACE en el siglo XVIII, y en el cual el calor desprendido por el animal era utilizado para fundir una masa de hielo que le rodeaba; el valor del calor producido se obtenía multiplicando la cantidad de hielo que se había fundido por su calor latente de fusión. Posteriormente BRANFORD, construyó un calorímetro en el que se utilizaba el mismo principio de la bomba calorimétrica, es decir, el calor desprendido por el animal era utilizado para elevar la temperatura de una masa de agua que se encontraba rodeando al calorímetro. A pesar de su extraordinaria sencillez estos calorímetros eran de una exactitud sorprendente y permitieron la obtención de resultados muy satisfactorios.

Sin embargo los avances de la técnica calorimétrica directa no se produjeron hasta que un centenar de años más tarde se construían en Alemania y en U. S. A., los primeros calorímetros de circulación de agua. En estos aparatos al animal se le introducía en un calorímetro de doble pared, el calor cedido por el animal a la pared interna era recogido por una determinada masa de agua que se encontraba en circulación. La temperatura de la pared interna era mantenida a una temperatura constante para evitar cualquier pérdida calórica. El valor del calor desprendido por el animal era determinado multiplicando el peso del agua circulante por unidad de tiempo, por la elevación de la temperatura. Estos calorímetros eran ventilados midiendo con exactitud el volumen, la temperatura y la humedad del aire a la entrada y a la salida del aparato. El valor del calor perdido por evaporación del agua se determinaba multiplicando el peso del vapor del agua por su calor latente de fusión. Los primeros calorímetros adiabáticos de este tipo fueron construidos en U. S. A. por ARMSBY y FRIES en el año 1903 y por CAPSTIEK y WOOD (23) en Cambridge en los años 20. Ambos calorímetros se encontraban fundados en el construido por ATWATER-ROSA en 1899, para realizar estudios con el hombre. En la actualidad todavía se encuentra en funcionamiento el calorímetro de ARMSBY-FRIES.

Tanto estos aparatos de circulación de agua como los anteriores son de un manejo muy complicado y tienen un coste de mantenimiento muy elevado, por lo que en los últimos años no se ha vuelto a construir ningún nuevo aparato de estos tipos.

Calorímetros de «Gradient-layer». Este tipo de calorímetros fueron construidos en primer lugar para ser utilizados en estudios con los animales por RICHTER y RUENER en el año 1899. Posteriormente BENZINGER¹⁴ ha mejorado considerablemente este tipo de aparatos empleando métodos de lectura más modernos y ha construido aparatos destinados a realizar estudios con el hombre de extraordinaria sensibilidad y capacidad de respuesta. Estos aparatos se fundan en el principio de que el calor desprendido por el animal en el interior del calorímetro puede ser repartido por las paredes del mismo, y siempre que éstas sean de una conductividad térmica conocida, el valor del calor liberado nos lo da la fórmula de FOURRIER.

$$\frac{dH}{dt} = S(T_1 - T_0)t$$

donde dH/dt es el nivel del flujo calórico, es la conductividad térmica de la pared, la cual tiene una superficie S y un espesor « t »; la diferencia de temperatura entre la superficie interna y la externa es $(T_1 - T_0)$. En los aparatos modernos el gradiente térmico es medido mediante el empleo de pares termoelectrónicos cuyas uniones van soldadas a ambas cubiertas del calorímetro. El Dr. PULLAR³⁸ contruyó en el Rowet Research Institute un calorímetro de este tipo para realizar estudios con cerdos jóvenes y otro para ser empleado con ovejas, los cuales poseen una extraordinaria sensibilidad ya que son capaces de detectar el incremento térmico que acompaña a las vasodilataciones reflejas, y también el calor emitido por un huevo de gallina durante el período de incubación.

La calorimetría indirecta en términos generales es una técnica muy costosa debido a que los aparatos que se necesitan tienen un precio muy elevado, además el tiempo preciso para efectuar las determinaciones es largo, por lo que no es una técnica adecuada para determinaciones de corta duración. Como excepción a estos inconvenientes generales tenemos el caso de los aparatos de «Gradient-layer», los cuales no tienen un precio muy elevado y los costes de su funcionamiento tampoco son muy altos.

II. 2. 4. Calorimetría indirecta.

La determinación directa del calor producido cuando el animal se encuentra oxidando un determinado alimento hemos visto que precisa de instrumentos muy costosos y de difícil manejo.

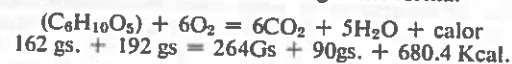
El mayor avance realizado en los estudios de los intercambios energéticos del hombre y de los animales domésticos se han efectuado gracias al desarrollo de las técnicas de calorimetría indirecta, en la cual no se efectúa ninguna determinación del calor producido. Estas técnicas comprenden la determinación del oxígeno consumido por el animal, el anhídrido carbónico producido y el nitrógeno eliminado por su orina. A partir de estos datos se efectúa la determinación del calor producido. Las técnicas de calorimetría indirecta son muy adecuadas para efectuar determinaciones de corta duración.

Antes de efectuar la descripción de los distintos aparatos y principios utilizados en la calorimetría indirecta haremos unas consideraciones de tipo general acerca de las bases fisiológicas en que se encuentra fundamentada la calorimetría indirecta.

Se puede afirmar que el organismo solamente produce la oxidación de tres tipos fundamentales de compuestos químicos: los hidratos de carbono, las grasas o los ácidos grasos y las proteínas. Si realizamos la determinación del oxígeno consumido en la oxidación de estos elementos, del anhídrido carbónico que se ha desprendido y del nitrógeno urinario, el cual representa las pérdidas del metabolismo nitrogenado, entonces podremos determinar el calor liberado por el organismo como consecuencia de la oxidación de una mezcla de estos tres componentes, en cualquier proporción en que se encuentren. Técnicamente el problema es fácil de resolver, aunque todavía queda pendiente el aspecto de la exactitud de los valores obtenidos.

Para llegar al conocimiento de los diversos factores empleados en la calorimetría indirecta se necesita determinar la relación existente entre el volumen del anhídrido carbónico producido y del oxígeno consumido, es decir, conocer el cociente respiratorio cuando se está verificando la oxidación de los diferentes componentes orgánicos.

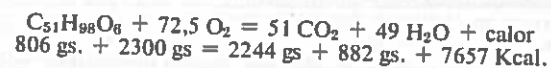
En el caso de los hidratos de carbono vamos a tomar como ejemplo el almidón cuya oxidación en el interior del organismo se desarrolla de la siguiente forma:



Para convertir los gramos de oxígeno a litros se utiliza el factor 0,6998, y para el caso del anhídrido carbónico el factor es de 0,5094.

En el caso de la oxidación del almidón se han consumido 134,4 litros de oxígeno y ha tenido lugar la producción de 134,4 litros de anhídrido carbónico, desprendiéndose 680 Kcal. El cociente respiratorio en este caso sería 134,4 litros de anhídrido carbónico divididos por 134,4 litros de oxígeno consumido, cociente que es igual a la unidad. En la misma forma vemos que por cada litro de oxígeno absorbido se han desprendido cinco mil novecientas sesenta y tres Kcal. Valores similares a los del almidón se obtienen para el resto de los hidratos de carbono y así se acepta un valor de combustión medio de 4,1 Kcal. por gramo; el oxígeno absorbido tiene un valor de 5,047 Kcal. por litro. En el caso de que el organismo animal solamente oxidase hidratos de carbono, la determinación del calor producido sería sencillamente multiplicar los litros de oxígeno consumidos por 5,047.

La oxidación de la molécula de grasa requiere una mayor cantidad de oxígeno que la de los hidratos de carbono, lo cual nos explica que su cociente respiratorio sea inferior. Tomaremos como ejemplo de la reacción de la oxidación de una grasa a la tripalmitina, produciéndose de la forma siguiente:



En el caso de la oxidación de la molécula de tripalmitina, se han consumido 1.623,5 litros de oxígeno y se han producido 1.143,1 litros de anhídrido carbónico. En esta ocasión el cociente

respiratorio sería 1.143,1/1.623,5 que es igual a 0,704. En el caso de la tripalmitina el valor calórico del oxígeno es de 4.716 Kcal. por litro. De forma análoga como sucede en el caso de los hidratos de carbono, el valor de combustión de las diferentes grasas presenta ligeras variaciones, aceptándose como valor medio el de 9,5 Kcal. por gramo. El cociente respiratorio en el caso de las grasas es de 0,707. Al valor calórico del oxígeno se le considera de 4.636 Kcal. por litro.

El organismo realiza la oxidación de las grasas y de los hidratos de carbono hasta llegar a sus componentes finales, es decir, anhídrido carbónico y agua, de forma análoga a lo que sucede cuando estos compuestos son quemados en una bomba calorimétrica. En el caso de la proteína esto no sucede así, ya que el organismo animal es incapaz de realizar su oxidación completa, produciéndose su eliminación en forma de urea a través de la orina, por lo que es fundamental el conocimiento del nitrógeno urinario para poder llegar a establecer el metabolismo proteico real. Los factores de empleo generalmente aceptados para el caso de la proteína, en su mayor parte se encuentran basados en experimentos realizados con perros, a los cuales se les suministraba carne como fuente proteica. BLAXTER⁴⁶ ha demostrado que existen notables diferencias entre estos valores y los que se obtienen cuando se suministran caseína u otros productos proteicos a ovejas y a ratas. Los factores generalmente en uso son los siguientes: 1 gramo de nitrógeno urinario supone que se han consumido 5,94 litros de oxígeno, durante la combustión de la proteína, habiendo tenido lugar la formación de 4,76 litros de anhídrido carbónico, desprendiéndose 26,51 Kcal. En el caso de la proteína tenemos que el cociente respiratorio es igual a 0,80 (4,76/5,94).

Si del total de oxígeno consumido y del carbónico producido restamos los valores correspondientes a la oxidación de la proteína obtendremos el denominado cociente respiratorio no proteico, cuyo conocimiento nos es de utilidad para establecer el calor desprendido por litro de oxígeno en la combustión de una mezcla de hidratos de carbono y de grasas; ZUNTZ y SCHUMBERG⁷⁶ han tabulado todos los valores energéticos por litro de oxígeno para los cocientes respiratorios no proteicos entre 1,00 y 0,707.

La oxidación de los distintos elementos a sus componentes más sencillos, hemos visto que da lugar a la formación de agua, fenómeno que cuando se estudia el metabolismo energético no tiene una gran importancia pero hemos de conocer y tenerlo presente. La oxidación de una determinada cantidad de grasa proporciona al organismo mayor cantidad de agua que la que supondría la ingestión de un peso análogo de agua.

II. 2. 5. Aparatos empleados en la calorimetría indirecta.

Los balances que sirven de base a la determinación de la calorimetría indirecta, normalmente son efectuados con el empleo de «Cámaras de respiración», las cuales son de construcción más sencilla que la de los calorímetros utilizados en la calorimetría directa. Existen dos tipos generales de cámara de respiración, las de «circuito abierto», y las de «circuito cerrado».

II. 2. 6. Cámaras de respiración de circuito abierto.

En este tipo de cámaras de respiración el aire del exterior es introducido en el interior de la cámara y posteriormente son medidos los cambios que dicho aire ha sufrido en su contenido en oxígeno, metano y anhídrido carbónico. Siempre que conozcamos el volumen del aire circulante y el incremento experimentado en las concentraciones de los diferentes gases, podremos conocer las cantidades totales de anhídrido carbónico y metano producidos, así como también el oxígeno consumido. La primera cámara de respiración de este tipo fue construida por PETTENKOFER y VOIT. En el aparato construido por estos autores solamente se efectuaba la determinación del anhídrido carbónico producido. El primero en medir el volumen del oxígeno consumido fue TIGERSTEDT. Hoy día las cámaras de respiración de tipo abierto, son conocidas con el nombre de cámaras de PETTENKOFER o cámaras de PETTENKOFER-TIGERSTEDT. Este tipo de cámaras es el que generalmente se utiliza en los grandes laboratorios dedicados al estudio del metabolismo energético.

Las cámaras de respiración de circuito abierto, presentan diversos problemas de tipo técnico. En primer lugar el aire circulante debe de ser medido con una gran exactitud; en segundo lugar las muestras que es preciso obtener del aire que se introduce en la cámara y del que abandona la misma, deben de ser auténticamente representativas; finalmente el contenido en oxígeno y el incremento en las concentraciones de anhídrido carbónico y metano del aire que atraviesa la cámara deben de ser medidos con una gran precisión. La ventilación de estos aparatos es de una gran importancia y se suele ajustar de forma que el contenido en anhídrido carbónico del aire no sobrepase el nivel del 1 por 100.

II. 2. 7. Cámaras de respiración de circuito cerrado.

En las cámaras de respiración de circuito cerrado, el aire se encuentra circulando continuamente siendo pasado a través de sustancias absorbentes que retienen el anhídrido carbónico y al vapor de agua, y una vez que ha sido purificado, es introducido de nuevo en la cámara de respiración. Debido al consumo que el animal hace del oxígeno en el interior de la cámara se produce un descenso de la presión, para compensar esta deficiencia es preciso introducir oxígeno en la misma proporción en la que es consumido. El anhídrido carbónico producido puede determinarse de una forma directa pasando las sustancias absorbentes empleadas. Los análisis gaseosos del aire nos van a servir para poder comprobar que el contenido del aire, en carbónico y en oxígeno, son iguales al comenzar y al finalizar el experimento.

La primera cámara de respiración de este tipo fue construida por REYNAULT y REISET en el año 1849, conociéndose normalmente a estos aparatos como «cámaras de REYNAULT-REISET». En un principio se pensó que las cámaras de respiración de circuito cerrado, no podían ser empleadas con los grandes animales debido a que el volumen gaseoso era tan grande en relación con el tamaño del animal que si la concentración gaseosa al final del experimento se desviaba ligeramente de la existente, al principio del mismo, entonces la corrección para el consumo de oxígeno, casi era tan grande como el volumen consumido por el animal. Otra dificultad radica en las enormes cantidades de materias absorbentes que se precisan en el trabajo con los grandes animales. Hemos de resaltar que un ternero, por ejemplo, que se encuentre en un medio con una temperatura de 20° C., produce unos siete kilogramos de anhídrido carbónico y unos quince kilogramos de vapor de agua a lo largo de las veinticuatro horas (BLAXTER).¹⁵

Las cámaras de respiración de circuito cerrado presentan ciertas ventajas cuando se les compara con las de circuito abierto; entre ellas tenemos que las determinaciones de las cantidades de los diferentes gases se hacen por estimaciones volumétricas y gravimétricas directas, además nos permite que se mantengan muy bajos los niveles de anhídrido carbónico y de vapor de agua en el interior de la cámara. Sin embargo, también presentan problemas técnicos y ciertas desventajas. Uno de los mayores inconvenientes de este tipo de aparatos es que son muy sensibles a los cambios de temperatura y de presión debido a que en la mayoría de ellos el oxígeno es introducido en su interior debido a la existencia de una diferencia de presión entre el aire del interior de la cámara y el aire externo; un aumento de la presión o una disminución de la temperatura del aparato conduce a la admisión de un exceso de oxígeno. En el caso de los aparatos utilizados con los rumiantes, puede producirse una acumulación de metano con lo que disminuye la cantidad de oxígeno que puede ser introducido en el interior del aparato.

II. 2. 8. Comparación de los métodos de calorimetría directa o indirecta.

Los resultados obtenidos mediante el empleo de la técnica de la calorimetría indirecta no son tan exactos como cuando se realiza la medición directa del calor producido por el animal, sin embargo se ha comprobado que los errores que se cometen son muy pequeños y no tienen una gran repercusión en el resultado final. Esto ha podido ser demostrado en experimentos en los cuales se han puesto en práctica los dos sistemas al mismo tiempo. En cualquier caso hemos de destacar que tanto los métodos directos como los indirectos se encuentran sometidos a errores experimentales. La primera comparación del escaso error que se cometía empleando los métodos indirectos fue realizada por RUBNER en el año 1894.¹⁵ En sus experimentos, los cuales tienen un interés histórico, RUBNER demostró que la única fuente de energía que recibe el organismo es la energía química suministrada por la alimentación; también comprobó que la primera ley de la termodinámica era aplicable a los seres vivos. Años más tarde BENEDICT y LEE¹³ hacen la siguiente afirmación: «no recomendamos la realización de ningún experimento más con el empleo de los métodos directos, puesto que la determinación del calor producido por los métodos indirectos es suficientemente exacta para los fines experimentales perseguidos».

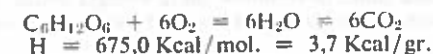
II. 3. LA ENERGÍA DE LOS ALIMENTOS

La energía química potencialmente contenida en los alimentos tiene que sufrir diversas transformaciones antes de poder ser utilizada por el organismo animal para el mantenimiento de su funcionamiento orgánico, o bien para la realización de un proceso productivo. Durante este proceso nos encontramos con la aparición de diversas «categorías» de energía cuyo conocimiento es importante en el estudio del metabolismo energético.

II. 3. 1. Energía bruta.

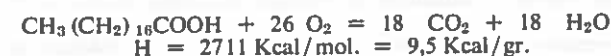
Al calor desprendido por una sustancia cuando es quemada en la bomba calorimétrica hasta sus productos finales se le denomina calor de combustión o «energía bruta» de la referida sustancia. El valor obtenido se expresa en términos de calorías por unidad de peso.

El calor de combustión de los diferentes alimentos está en íntima relación con su composición química, en especial su contenido en C, H y O. En el caso de los hidratos de carbono, su molécula contiene suficiente oxígeno para verificar la oxidación del hidrógeno presente, por lo que solamente precisan tomar oxígeno del exterior para oxidar el carbono. Si tomamos como ejemplo de un hidrato de carbono la glucosa, su calor de combustión sería el siguiente:



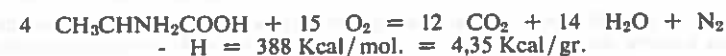
Los diferentes hidratos de carbono presentan una energía bruta que varía ligeramente con el de la glucosa debido a su diferente contenido en carbono. El calor de combustión medio aceptado para los hidratos de carbono es el de 4,1 Kcal/gr.

Las grasas poseen una molécula que es mucho más pobre en oxígeno que la de los hidratos de carbono, por lo que precisan tomar oxígeno del exterior para oxidar el carbono y el hidrógeno presente en su molécula. Como ejemplo del calor de combustión de una grasa consideremos el ácido esteárico:



El calor de combustión medio generalmente aceptado para las grasas es el de 9,5 Kcal/gr.

La molécula de proteína tampoco contiene oxígeno suficiente para oxidar el carbono e hidrógeno de su molécula, por lo que de forma análoga a lo que sucedía con el caso de las grasas ha de tomarlo del exterior. El aminoácido alanina nos va a servir de ejemplo:



La energía bruta de las proteínas, como media del grupo, es de 5,65 Kcal/gr.

Además de los métodos directos para la determinación del calor de combustión de una determinada sustancia, existen diversas ecuaciones de regresión que permiten el cálculo de la energía bruta de una forma directa, a partir del conocimiento de su composición química. Ecuaciones de este tipo han sido propuestas por NEHRING,¹⁶ y De VUYST.²⁷

II. 3. 2. Energía digestible.

La totalidad de la energía bruta de un alimento liberada en la bomba calorimétrica no es utilizable por el organismo, sino que antes ha de sufrir diversas pérdidas. La determinación del calor de combustión de las heces correspondientes al alimento ingerido y su sustracción del valor de la energía bruta del alimento, nos da el valor de lo que conocemos como «energía digestible». En un sentido estricto se trata de una digestibilidad aparente, puesto que algunos de los componentes de las heces son de origen metabólico, aunque su contribución cuantitativa es insignificante y no modifica notoriamente el valor de la energía digestible.

La determinación de la energía digestible se lleva a cabo mediante una sencilla prueba de digestibilidad, en la cual se recojen las heces correspondientes a la ingestión del alimento en cuestión, libres de contaminación con la orina. La energía digestible también puede calcularse mediante la aplicación de ecuaciones de regresión a partir del conocimiento de los diferentes principios digestibles. Asimismo puede calcularse a partir del contenido en TDN del alimento, (1 kg. de TDN equivale a 4.424 Kcal.).

II. 3. 3. Energía metabolizable.

Para que la energía que ha sido digerida pueda ser útil al organismo, todavía ha de sufrir diversas transformaciones las cuales determinan la aparición de nuevas pérdidas de energía. En primer lugar tenemos que la proteína no es oxidada completamente como sucede en la bomba calo-

rimétrica, sino que los productos finales de su oxidación son, fundamentalmente, urea o ácido úrico, los cuales son excretados a través de la orina juntamente con otras sustancias incompletamente oxidadas procedentes del metabolismo nitrogenado.

En el caso de los rumiantes, además de las pérdidas energéticas de la orina tenemos que tener en consideración las sufridas a través de los gases combustibles, principalmente metano, los cuales se originan durante los procesos de fermentación de los hidratos de carbono. Estas pérdidas también existen en los animales no rumiantes, pero son de una reducida importancia cuantitativa desde el punto de vista del metabolismo energético.

La determinación del calor de combustión de las heces, de la orina y de los gases combustibles y su suma nos da el valor de la energía bruta ingerida que ha atravesado el organismo sin ser utilizada por el mismo. Si esta suma la restamos de la energía bruta ingerida, obtenemos el valor de lo que se conoce por «energía metabolizable», que puede considerarse como la parte de la energía bruta que es capaz de ser transformada por el organismo.

La determinación del metano producido precisa del empleo de una cámara de respiración, lo cual hace que la técnica sea compleja y costosa. Para obviar este inconveniente, numerosos autores han propuesto ecuaciones de regresión que son generalmente aceptadas y que nos permiten el cálculo del metano producido de una forma bastante exacta. Entre las fórmulas más generalmente empleadas podemos citar las de AXELSSON,⁶ SWIFT et al.,⁶⁷ BRATZLER¹⁹ y ARMSBY,⁵ todas las cuales emplean la cifra de los hidratos de carbono digestibles como dato de referencia. Recientemente BLAXTER y CLAPPERTON¹⁰ recomiendan el empleo de la digestibilidad de la energía en lugar de los hidratos de carbono. Una gran mayoría de los valores de energía metabolizable han sido obtenidos calculando el metano producido, en vez de determinarlo experimentalmente.

La energía metabolizable puede ser calculada de una forma indirecta mediante el empleo de varias ecuaciones de regresión, de las que las más importantes son la de NEHRING⁴⁸ y la de AXELSSON.⁹

II. 3. 4. Energía neta.

El organismo animal todavía es incapaz de utilizar la energía metabolizable de una forma íntegra, sino que ésta ha de sufrir una última pérdida que se conoce como «incremento térmico». Si de la energía metabolizable restamos el valor del incremento térmico, obtenemos la última «categoría» de energía que es denominada «energía neta». La energía neta es la fracción de la energía bruta ingerida que resta una vez que han sido descontadas las pérdidas energéticas de las heces, orina, gases combustibles y el incremento térmico. El concepto de energía neta nació de los trabajos que a principios de siglo desarrolló ARMSBY en USA.

Debido a que la determinación de la energía neta es necesariamente una técnica lenta y costosa, Armsby y Fries, a partir de sus experimentos con calorímetros desarrollaron una serie de factores para poder efectuar el cálculo de la energía neta a partir del conocimiento de la energía metabolizable. NEHRING,⁴⁸ ha desarrollado fórmulas de regresión para el cálculo de la energía neta a partir del conocimiento de los principios digestibles.

II.4. VALORACION ENERGETICA DE LOS ALIMENTOS

La deficiencia en el aporte de energía en las raciones de nuestros animales es generalmente una de las razones más importantes de su baja productividad. La falta de vitaminas, aminoácidos, ácidos grasos o minerales, suele dar lugar a la aparición de síntomas más o menos espectaculares que pueden diagnosticarse con facilidad, mientras que una deficiencia en el aporte de energía no produce ningún síntoma específico, dando lugar a una continuada disminución de la productividad del animal. Para poder alcanzar niveles óptimos de producción en todos los animales, es fundamental el disponer de un adecuado conocimiento del valor energético de los animales. (BLAXTER).¹⁸

La determinación del valor energético de los alimentos es un problema al que en el pasado se le han presentado numerosas soluciones, ninguna de las cuales podemos considerar satisfactoria y definitiva en la actualidad. Sin embargo es preciso reconocer que alguno de estos intentos produjeron un importantísimo impacto en la práctica del racionamiento animal. El método desarrollado por KELLNER en Alemania a principios de siglo es hoy día utilizado, con algunas modificaciones, en la mayoría de los países europeos, mientras que el método denominado TDN, el cual

debe sus orígenes a los trabajos de WOLF y LEHMAN en 1860, es hoy día la base de la alimentación del ganado en USA.

Los numerosos factores que directamente afectan a la utilización de la energía por los animales, entre los que podemos citar el nivel de ingestión, las diferentes especies, los distintos procesos productivos (mantenimiento, crecimiento, engorde, lactación, etc.), el contenido en fibra de la ración, el balance de los diferentes componentes de la dieta, etc., hacen que el problema de la valoración energética de los alimentos sea de difícil solución.

Uno de los primeros intentos de solucionar este problema fue la presentación en el año 1809 por THAER, de los denominados «valores heno», los cuales estaban basados en el conocimiento de la composición química y en datos de la producción obtenida por los diferentes alimentos, comparados con un heno standard. Debido a que los henos de una misma planta pueden presentar variaciones muy notables en su valor nutritivo cuando se estudian en diferentes épocas, Thaer observaba grandes variaciones en el valor heno de los alimentos estudiados.

En el año 1860, HENNEBERG y STOIMAN, comenzaron a trabajar con sus «unidades alimenticias», las cuales tenían como fundamento el conocimiento de los diferentes principios digestibles. El gran número de datos obtenidos por estos dos investigadores alemanes, proporcionó una amplia base a partir de la cual otros autores desarrollaron sistemas prácticos de racionamiento para los animales.

El método de valoración nutritiva basado en los principios digestibles, que ha tenido una mayor importancia en la práctica de la alimentación, es sin ninguna duda el TDN (Total de Nutrientes Digestibles), el cual ha sufrido diversas modificaciones hasta llegar a la forma en que es empleado hoy día. En el año 1900 HILLS³⁸ revisando los standards alemanes introdujo una modificación en los mismos consistente en multiplicar la grasa digestible por 2,25 y el producto añadirse a la suma de los hidratos de carbono. Los citados standards alemanes consideraban por separado la proteína, los hidratos de carbono y la grasa, la cual expresaban como «equivalente de hidratos de carbono» en base a su contenido en energía bruta. En el año 1910 tuvo lugar el último cambio que condujo al actual sistema de cálculo del TDN. HILLS y colaboradores³⁹ y WOLL y HUMPHREY,⁷³ consideraron la suma de la proteína digestible más los hidratos de carbono digestible y más la grasa digestible multiplicada por 2,25, y al producto resultante le denominaron TDN.

El TDN está ampliamente difundido en U. S. A., donde sus defensores abogan por la extrema sencillez de su determinación y por los buenos resultados que ha proporcionado en la práctica de la alimentación del ganado. Sin embargo cada día existen más autores que se muestran en desacuerdo con su utilización, acusándole de sobrevalorar a los alimentos groseros en comparación con los concentrados, así como de no tener en consideración pérdidas energéticas tan importantes como las de la orina, gases combustibles y el incremento térmico. Su utilización se encuentra muy limitada en el caso de una alimentación a base de forrajes, mientras que en las raciones que Forbes y Mitchell denominan «equilibradas» su utilización produce buenos resultados. El problema está en la definición de la expresión «ración equilibrada» desde un punto de vista de la utilización de su energía.

Hacia el año 1890 se llevó a cabo en la Estación Experimental de Möckern una amplia serie de trabajos sobre la utilización de la energía por el ganado vacuno, los cuales fueron iniciados por KÜHN y continuados más tarde por KELLNER y sus sucesores, especialmente por KOHLER. Estos estudios concluyeron con la puesta a punto de un nuevo sistema de valoración energética de los alimentos, el cual iba a representar un paso importantísimo en la práctica de la nutrición animal. El sistema de KELLNER estaba fundado en la capacidad de los diferentes alimentos de producir una deposición de grasa corporal en bueyes adultos, comparada con la producida por la ingestión de un kilo de almidón. El «valor almidón» o las «unidades almidón», pasaron a ser la unidad del nuevo sistema. KELLNER utilizó en sus experimentos el método del balance de carbono y nitrógeno, calculando la cantidad de grasa corporal acumulada por unidad de peso de los diferentes nutrientes que iba añadiendo a una ración base. KELLNER realizó todas sus determinaciones a niveles de ingestión por encima de las necesidades del mantenimiento. KELLNER suponía que por encima del nivel de mantenimiento las pérdidas calóricas están en relación lineal con la ingestión de energía digestible, que los diferentes elementos de la ración tienen una acción aditiva al ser mezclados, y finalmente que la forma física de la dieta y el tipo de ración base carecen de efecto sobre la capacidad del alimento para producir una deposición grasa en el organismo animal. KELLNER determinó el valor almidón de los diferentes principios nutritivos puros y a continuación pasó a estudiar los diferentes alimentos comúnmente empleados en la nutrición del ganado, observando que los alimentos groseros presentaban valores que, como media, eran un 30-37 % inferiores a lo que, su composición en principios nutritivos hacía esperar. En principio KELLNER atribuyó esta diferencia al mayor «trabajo de digestión» de los alimentos groseros, pero más tarde estudiando paja de trigo finalmente molida, observó que el valor almidón de la misma seguía siendo inferior al esperado y muy similar al obtenido con la paja sin moler, con lo que KELLNER pensó que debería

ser otro el factor responsable de la diferencia observada la cual atribuyó al contenido en fibra bruta de la ración. KELLNER comprobó que 100 gramos de fibra bruta en el heno disminuían la deposición de grasa corporal en 14,3 gramos lo que equivale a una reducción del valor almidón de 58 gramos. KELLNER determinó factores de corrección para el contenido en fibra bruta de los diferentes alimentos. La mayoría de los valores almidón que existen publicados en la actualidad han sido calculados a partir de la aplicación de factores a los diferentes principios digestibles.

Los valores almidón de KELLNER son en realidad una medida de energía neta, siendo ésta la primera vez que se intentó aplicar a la práctica de la alimentación del ganado el concepto de la energía neta. El sistema de KELLNER ha servido de base a la mayoría de los sistemas de valoración energética de los alimentos y de las normas de racionamiento para el ganado, en uso actualmente en la mayor parte de los países europeos.

Una de las primeras modificaciones al método original de KELLNER, la constituyen las «unidades alimenticias» de HANSSON, el cual en 1913 creó un nuevo sistema de valoración energética realizando la unión de las antiguas unidades forrajeras escandinavas y las unidades almidón de KELLNER. HANSSON expresó sus valores como «unidades alimenticias». Una unidad alimenticia equivale a la energía neta de un kilo de cebada, aproximadamente 1.650 Kcal.

El sistema de las unidades almidón de KELLNER fue introducido en Gran Bretaña por WOOD.⁷⁴ El citado autor estudiando los resultados de los trabajos de KELLNER y de ARMSBY, observó que este último en el caso de los alimentos groseros obtenía valores de energía neta consistentemente superiores a los descritos por KELLNER. En vista de lo cual WOOD incrementó los valores almidón de pajas y henos en un 20 por 100. Últimamente ⁷⁵ este factor se conserva únicamente para los henos y fue retirado en el caso de las pajas.

MØLLGAARD, en una serie de experimentos llevados a cabo con cámaras de respiración, llegó a la conclusión de que siempre que el contenido en proteína de la ración no sea muy variable, las unidades almidón pueden ser utilizadas en el racionamiento del vacuno de leche, mientras que cuando la proteína variaba considerablemente, el sistema de las unidades almidón carecía de significado en este tipo de ganado. MØLLGAARD expresó sus unidades en términos de los que se conoce por «energía neta para el engorde» (NKE). Una unidad equivale a 837 NKE. Esta nueva modificación del sistema de KELLNER no ha tenido una gran aceptación en la práctica del racionamiento animal.

FRAPS,⁷⁴ aplicando los datos de composición química y los «coeficientes de producción» que el mismo desarrolló a partir de los datos originales de KELLNER y de ARMSBY, obtuvo sus valores de «energía productiva» para los diversos alimentos para los rumiantes. Más tarde publicó un método para el cálculo de la energía productiva a partir de datos obtenidos en experiencias en las que se tenía en consideración el valor energético de la ganancia corporal.^{75,76} Los valores de energía productiva de FRAPS son en esencia valores de energía neta calculados para el engorde.

Casi paralelamente al desarrollo del trabajo de KELLNER en Alemania, ARMSBY y FRIES comenzaron en USA un extenso estudio sobre el metabolismo energético del ganado vacuno que condujo al desarrollo por ARMSBY del concepto de «energía neta». Aunque el sistema empleado y las unidades son diferentes, en el fondo la energía neta de ARMSBY y los valores almidón de KELLNER representan la misma entidad biológica. ARMSBY en lugar de utilizar el método del balance de Carbono y nitrógeno, empleó la determinación directa de las pérdidas calóricas. La mecánica general de sus experimentos era muy similar a la utilizada anteriormente por KELLNER, en cuanto que ambos autores añadían sus raciones problema, a una ración base, diferenciándose en que KELLNER medía la grasa depositada después de la ingestión de ambas reacciones y ARMSBY determinaba el calor producido por las mismas y la diferencia en el calor producido en los dos experimentos lo expresaba como «incremento térmico» del referido alimento. Este incremento térmico era sustraído del valor de la energía metabolizable para llegar al conocimiento de la energía neta.

Enfrentados con el problema de la determinación experimental de la energía neta de un gran número de alimentos, ARMSBY y FRIES ⁴ en 1916 propusieron que estos valores fueran calculados a partir de su contenido en energía metabolizable, los cuales en su mayoría a su vez habían sido calculados a partir de los principios digestibles, con lo que al final nos encontramos que la mayoría de los valores de energía neta tienen como base una determinación de los principios digestibles.

Los valores que ARMSBY y FRIES determinaron experimentalmente tienen, desgraciadamente, un empleo limitado debido a que sus determinaciones las realizaron por debajo del nivel del mantenimiento, lo cual quiere decir que fueron hechas en una zona donde la curva de producción calórica es muy pronunciada. Como consecuencia sus valores de energía neta son sustancialmente superiores a los que habrían obtenido si la determinación se hubiera realizado por encima del nivel del mantenimiento. Esta es una de las razones que nos explica las discrepancias observadas entre los valores de energía neta y la producción obtenida en condiciones prácticas.

ARMSBY,² como resultado de su estudio de tres balances de energía llevados a cabo por KELLNER en ganado vacuno de leche, llegó a la conclusión de que la energía de los alimentos es utilizada con mayor eficiencia para la producción de leche que para el engorde, lo cual ha sido confirmado posteriormente por numerosos autores.

Los conocimientos básicos desarrollados por ARMSBY y sus colaboradores pueden ser considerados como uno de los hechos más importantes en la historia de la nutrición animal, y a pesar de la dificultad de la utilización de sus valores, el concepto de «energía neta» de un alimento es por definición la única expresión perfecta de su valor nutritivo, ya que está respaldado por la definición de la energía neta y por la ley de la conservación de la energía.

Una última modificación a los sistemas de KELLNER y ARMSBY es la debida a MORRISON, quien en 1937 publicó sus tablas de composición de los alimentos y de racionamiento animal en la 20 edición de su libro «Feeds and Feeding». El nuevo sistema propuesto por MORRISON utiliza el maíz como elemento de referencia. La determinación de la energía neta del maíz dio un valor de 81,1 therms por cien libras (1.784 Kcal./kg.). En esencia el método MORRISON es una compilación de los de FRAPS, ARMSBY y KELLNER, los cuales fueron modificados en consonancia con los resultados obtenidos en diversos experimentos de tipo práctico realizados en Europa y América. Los principales defectos del método de MORRISON son los de considerar que una unidad de ganancia corporal tiene el mismo valor energético independientemente de su composición o del tratamiento experimental, y en segundo lugar asume que la energía es utilizada con la misma eficiencia para el mantenimiento que para el engorde.

AXELSSON en 1943 propuso el único sistema de valoración nutritiva que utiliza como unidad la energía metabolizable. Este método no ha tenido un gran impacto en la práctica de la nutrición animal. El empleo de la energía digestible o metabolizable como índice de las necesidades nutritivas presupone que la energía digestible de los diferentes alimentos es utilizada con la misma eficiencia, lo cual es cierto para el caso de las necesidades del mantenimiento y en la producción de trabajo, pero es totalmente insostenible en el caso del engorde, del crecimiento de la producción láctea. Existen dos ocasiones concretas en las que la energía metabolizable es una unidad de energía muy superior a las demás, se trata de las necesidades de mantenimiento en un ambiente frío AXELSSON ⁸ y MAYNARD ⁴⁷ y en el caso de los animales en pastoreo WAYNE y COOK.⁷²

BLAXTER,¹⁵ recientemente ha propuesto un nuevo sistema de valoración energética de los alimentos en el que recomienda que los mismos sean clasificados de acuerdo con el contenido en energía metabolizable determinada al nivel de mantenimiento y expresada en calorías por unidad de peso. En la opinión del referido autor el nuevo esquema de trabajo tiene en consideración las diferencias en el valor para la producción de los diferentes alimentos y también sus efectos asociativos. Para que el nuevo método nos pueda proporcionar una adecuada predicción de la productividad animal a partir del conocimiento de la ración y de su contenido energético, se precisa disponer de una mayor información básica sobre la utilización de la energía en los diferentes procesos productivos, información de la que prácticamente carecemos en la actualidad. BLAXTER afirma que una de las ventajas de su nuevo sistema es la de disponer de suficiente flexibilidad para ir incorporando en su esquema los nuevos conocimientos que se vayan produciendo como resultado de la investigación científica, lo cual es realmente difícil de llevar a cabo con los actuales métodos convencionales, que son demasiado rígidos en sus principios. Otra característica importante del nuevo sistema es la de que la ordenación de los alimentos por su contenido de energía metabolizable no indica en absoluto que se sustituyen entre sí proporcionalmente a su energía metabolizable.

Existe evidencia experimental suficiente que demuestra que la energía metabolizable determinada al nivel de las necesidades del mantenimiento es prácticamente constante., RITZMAN y BENEDICT,⁸¹ BROUWER et al.²¹ VAN ES.⁷⁰

En una reciente publicación del Agricultural Research Council⁶⁸ de Gran Bretaña, aparece por primera vez la valoración nutritiva de los alimentos expresada en términos de su energía metabolizable, de acuerdo con el nuevo sistema propuesto por BLAXTER. En la opinión de los autores de la citada publicación el nuevo sistema se encuentra destinado a sustituir a las unidades almidón, TDN, y otros sistemas de actual empleo en Gran Bretaña.

La rápida revisión que hemos efectuado de los diferentes sistemas de valoración energética de los alimentos actualmente en uso, nos demuestra suficientemente que todos presentan errores, y bien su fundamento científico en ocasiones (TDN), o su aplicación y utilización en otras (energía neta de ARMSBY) se encuentran abiertos a discusión de acuerdo con los nuevos conocimientos que han ido apareciendo en el campo del metabolismo energético desde el tiempo en que se publicaron los diferentes sistemas estudiados. BLAXTER ¹⁵ considera que el tiempo es actualmente propicio para el cambio y que existe una clara necesidad de aplicar a la práctica de la nutrición los nuevos hallazgos científicos.

A pesar de que una gran parte de los especialistas interesados en los problemas del metabolismo energético se muestran de acuerdo con la necesidad de un cambio en los actuales sistemas

de valoración nutritiva y de que la energía metabolizable parece ser la unidad de energía que más ventajas puede ofrecer, tanto desde el punto de vista de su fundamento científico como del de la sencillez de su determinación experimental (SWIFT y FRENCH,⁶⁶ PHILLIPSON,⁶⁶ LEITCH,⁴⁴ MAYNARD,⁴⁷ AXELSSON⁸¹) el abandono de los antiguos sistemas indudablemente ha de ser lento y ha de encontrar notable resistencia, especialmente en aquellos medios donde los sistemas convencionales estén profundamente arraigados.

En el caso del medio español nuestra situación es más ventajosa en cuanto que carecemos de una tradición científica en este área, y por otra parte al medio ganadero de nuestro país no le supondría ninguna dificultad adaptarse a un nuevo sistema por la sencilla razón de que no está acostumbrado a ningún método concreto de racionamiento para su ganado. En segundo lugar, una vez reconocida la urgencia de disponer de tablas de valoración nutritiva propias, creemos que la ocasión es adecuada para planificar nuestros trabajos del futuro, desde el punto de vista de la energía, llevando a cabo la determinación de la energía metabolizable y así poder expresar nuestros valores en una unidad científica moderna. Este trabajo en principio no necesita de material costoso ni personal superespecializado, pues solamente es preciso el disponer de una bomba calorimétrica y jaulas de digestibilidad para efectuar la recogida de las heces y de la orina, ya que el metano producido puede calcularse con exactitud suficiente mediante la aplicación de las fórmulas existentes en la literatura, y solamente cuando el contenido en energía metabolizable de la ración es inferior a 2.000 Kcal., el error introducido por el cálculo del metano puede alcanzar un valor del 1 por 100. Por último creemos que lo que tenemos que evitar es el volver a pasar por los errores que otros ya han superado y desaprovechar su valiosa experiencia.

II. 5. *Balances energéticos en pajas de leguminosas.*

En la revisión bibliográfica de la literatura mundial que hemos llevado a cabo solamente hemos podido encontrar el trabajo de HALMILTON y KAMMLADE³⁷ que trata sobre la determinación del contenido en energía metabolizable del heno y de la paja de soja para el ganado vacuno.

No hemos encontrado ningún otro trabajo que se ocupe de la determinación de la energía metabolizable ni de la energía digestible de las pajas de leguminosas estudiadas por nosotros en el presente trabajo.

Probablemente esta falta de estudios sobre este tipo de alimentos es debida al hecho de que algunas de las pajas estudiadas son desconocidas en los países más desarrollados y que se encuentran más avanzados en los estudios de nutrición animal o carecen de interés práctico, pero éste no es el caso de nuestro país. Además, como veremos más adelante, el estudio de este tipo de pajas ofrece un marcado interés teórico.

III. MATERIAL

III. 1. *Los animales.*

Para la realización de los experimentos se dispuso de catorce corderos de raza «Churra», de aproximadamente un año de edad. Los corderos fueron adquiridos en Villabaruz de Campos (Valladolid), y todos ellos procedían de un mismo rebaño. Los corderos se encontraban en perfectas condiciones de desarrollo y sanitarias. Para facilitar su manejo todos los corderos fueron castrados.

III. 2. *Los alimentos.*

Las raciones suministradas durante todos los experimentos estuvieron formadas exclusivamente por paja de leguminosas. Se efectuó la determinación del contenido en energía digestible y energía metabolizable de nueve pajas diferentes, éstas fueron las siguientes: Lentejas (*Lens esculenta*. Monch). Algarrobas (*Vicia momanthos*. L.). Almortas (*Lathyrus sativus*, L.), Yeros (*Ervilia sativa*), Veza (*Vicia sativa*, L.), Guisan-

tes (*Pisum sativum*, L.), Garbanzos (*Cicer arietinum*. L.); Alubias (*Pheolus vulgaris*, L.) y Habas (*Vicia faba*, L. var minor).

Las pajas fueron adquiridas en diferentes pueblos de la región leonesa, siendo los lugares de procedencia de cada una de las pajas el siguiente: la paja de lentejas procedía de Matalcón de los Oteros (León); la de algarrobas, de Villavieja (Valladolid); la de Almortas, de Villar de Fallabes (Zamora); la de yeros, de Hermedes de Cerrato (Palencia); la de Veza, de Cevico Navero (Palencia); las de guisantes, de La Cistiérniga (Valladolid); la de garbanzos, de Fuentesauco (Zamora); la de alubias, de Santa María de Páramo (León); y la de habas de Benavente (Zamora).

Las pajas de leguminosas están constituidas por el conjunto de tallos, hojas secas y vainas de las plantas de las familias de este tipo cultivadas para grano, después de que éste ha madurado y son obtenidas mediante la trilla o el apaleo de las vainas con el fin de obtener el grano. Según que procedan de la trilla o del apaleamiento su estado físico es diferente, presentando un grado de partícula más pequeño en el primero de los casos y teniendo partículas mucho más groseras en el segundo, en el que aparecen tallos de considerable grosor y a veces las vainas completas. De las pajas estudiadas, procedían de la trilla todas menos las de alubias y habas. La composición química y el estado físico de las pajas se cita en un capítulo posterior.

En la adquisición de las pajas se cuidó en gran manera que las pajas estuviesen libres de cualquier mezcla de otras pajas o de cualquier otro elemento; también fue considerado que se encontrasen en condiciones de conservación óptimas y de que su estado físico fuese el normal en que ordinariamente se administran al ganado como componentes de sus dietas.

III. 3. *Las jaulas metabólicas.*

Durante los diferentes períodos experimentales los corderos permanecieron introducidos en unas jaulas metabólicas especiales construidas en madera, las cuales tenían las siguientes características: longitud 1,27 m; anchura 0,53 m. Las jaulas iban apoyadas sobre unas patas de madera de 0,49 m. de altura; en la parte anterior de la jaula va colocado un comedero basculante el cual está forrado de chapa de zinc. Las medidas del comedero son: longitud 0,40 m., anchura 0,22 m., la altura de la parte anterior es de 0,22 m., mientras que la de la parte posterior es de 0,56. El comedero cubre la casi totalidad de la parte anterior de la jaula, con lo cual se evita el que los animales puedan arrojar restos de comida al suelo. La parte posterior de la jaula se encuentra constituida por una puerta de abertura lateral de 0,41 m. de anchura por 0,59 de altura. A través de esta puerta se introducían y se sacaban los corderos de las jaulas. Las partes laterales de la jaula están formadas de tela metálica de 6 mm. reforzada con listones de madera situados verticalmente. En el lateral izquierdo de la jaula existe una abertura de 0,29 m. de ancho por 0,24 m. de alto que permite el acceso al bebedero, el cual va situado en una lateral de la jaula. El suelo de la jaula es de tela metálica de 20 mm. reforzada con listones de madera. Por debajo del suelo y en la parte anterior de la jaula va situada una bandeja de hierro galvanizado destinado a recoger los restos de alimentos que los corderos arrojan fuera del comedero.

III. 4. *Sistemas para la recogida de las heces y de la orina.*

En las pruebas en que sea preciso determinar la digestibilidad se necesita efectuar una recogida de las heces y de la orina por separado sin que se contaminen entre

sí. Para ello existen diversos sistemas de los que nosotros vamos a citar los que hemos empleado en nuestros experimentos.

III. 4. 1. *Recogida de las heces.*

Para la recogida de las heces se emplearon unas bolsas especiales cuyo modelo fue pedido al Institut für Tierernährung (F. A. L.) de Braunschweig-Volkenrode (Alemania). El sistema fue posteriormente adaptado a nuestros animales. Las bolsas de recogida de las heces van sujetas al animal mediante unos arneses especiales contruidos por una serie de correas de cuero cuya única misión es la de mantener fija la bolsa contra el cuerpo del cordero. La bolsa está constituida de lona plastificada, en su parte anterior tiene un aro metálico que permite la mejor adaptación a la región anal de los corderos. En su extremo inferior la bolsa va provista de una solapa que cierra perfectamente mediante unos «clips». Por este extremo es por el que se verifica el vaciado de las bolsas.

III. 4. 2. *Recogida de la orina.*

Para la recogida de la orina se utilizó un embudo de goma el cual va colocado en la región ventral del animal y en cuyo interior queda introducido el prepucio. Este orinal se encuentra sujeto a los arneses mediante un aro de cuero que le abarca y que está provisto de cuatro correas de fijación a los arneses. El orinal se estrecha en su parte inferior en la que se continúa con un tubo de goma suficientemente largo para conducir la orina a las botellas de recogida, que se encuentran situadas junto a una de las patas traseras de la jaula. Cuando el animal efectúa la micción, la orina es recogida por el orinal y conducida por el tubo hasta las botellas de recogida.

Para la recogida de la orina se emplearon botellas de plástico de 2,200 litros de capacidad. Para la conservación de la orina del experimento se utilizaron botellas de plástico de quince litros de capacidad.

III. 5. *La Bomba calorimétrica.*

Para poder efectuar las determinaciones de la energía bruta de las pajas, de las heces y de la orina necesarias para poder llegar al conocimiento de la energía digestible y metabolizable, dispusimos de una bomba calorimétrica adiabática marca IKA de la casa alemana JANKE & KUNKEL.

El equivalente en agua de la bomba calorimétrica fue determinado mediante la combustión de ácido benzoico puro, especial para determinaciones calorimétricas.

IV. METODOS

IV. 1. *Experimentación animal.*

IV. 1.1. *Duración y marcha experimental.*

Durante los períodos experimentales, los corderos permanecieron introducidos en las jaulas metabólicas provistos de los sistemas ya descritos para la recogida de las heces y de la orina.

Se realizaron nueve experimentos, en cada uno de los cuales se estudió una de las pajas de leguminosas ya citadas. La duración del período experimental en los nueve experimentos realizados fue de veinte días. Estos veinte días se dividieron en dos períodos de diez días cada uno de ellos, el primero denominado «período previo», y un segundo «período de colección».

Durante el período previo los animales reciben una cantidad fija de alimento, la cual es idéntica a la que van a recibir posteriormente durante la fase de colección. Este período es de una duración variable, pero la mayoría de los autores se muestran de acuerdo en los diez días como la duración más adecuada para lograr una perfecta adaptación del aparato digestivo, y también para lograr una fijación en el nivel de excreción de las heces. Tampoco es infrecuente el empleo de períodos previos más cortos.

El período de colección también tiene una duración de diez días, durante los cuales se verifica la recogida de las heces y de la orina producidas durante la fase. Para ello en el último día del período previo se retiran de los comederos los posibles restos de alimento que hayan podido quedar en la fase previa, y a continuación se comienza la recogida de las heces y de la orina. La duración del período de colección también es variable. CLANTON²⁵ hace un estudio en el que compara los resultados obtenidos con el empleo de un período de colección de siete y de diez días en novillos de carne. KING et. al.¹² realizan un trabajo parecido en el que emplean períodos de colección de seis y diez días en experimentos con novillas lecheras.

Los animales recibieron dos comidas diarias, las cuales fueron exactamente pesadas en una balanza de un gramo de sensibilidad. Las comidas eran suministradas a las nueve horas de la mañana y a las seis horas de la tarde. Las dos comidas eran exactamente iguales.

En un experimento previo se fijó el nivel de ingestión para este tipo de alimentos de nuestros corderos, comprobándose que la cantidad que consumían totalmente la mayor parte de los corderos era de 600 gr. diarios. En el experimento núm. 2 se les suministró 650 gr. diarios, pero en los restantes se volvió a los 600 gr. En el experimento núm. 8, y debido a que los corderos comían con gran avidez la paja de alubias, se les suministraron 800 gr. diarios, pero dejaron abundantes restos, lo cual no es de desear en este tipo de experimentos.

En el tiempo transcurrido entre los períodos experimentales los corderos permanecieron en «boxes» individuales, y cuando el tiempo lo permitía se les sacaba a un patio donde recibían la misma alimentación que en los boxes. La alimentación de estos períodos estaba integrada por un concentrado de características normales para el ganado ovino y una mezcla de pajas de leguminosas como alimento de volumen.

En los días próximos al comienzo de un experimento los corderos recibían la paja que iba a ser objeto de estudio como alimento grosero para que fueran adaptando su aparato digestivo, al mismo tiempo se les iba quitando de una forma paulatina el alimento concentrado.

En los experimentos números 1, 2, 3 y 4 se utilizaron seis corderos. En el experimento núm. 5 se emplearon cuatro corderos debido a que no fue posible la adquisición de paja de veza pura en cantidad suficiente para un mayor número de corderos. Los experimentos 7, 8 y 9 se llevaron a cabo con cinco corderos, pues del total de catorce corderos se produjeron dos bajas y un tercero se fracturó una extremidad, con lo cual el «stock» quedó reducido a dos grupos de cinco corderos cada uno.

Durante los experimentos los corderos dispusieron siempre de agua limpia a su disposición en el bebedero.

IV. 1. 2. *Recogida y preparación de las heces.*

Las heces fueron recogidas diariamente de las bolsas ya descritas anteriormente. La colección de las heces se efectuó todos los días a la misma hora, realizándose inmediatamente después de suministrar a los corderos la comida de la mañana. Cada día se recogían las heces correspondientes a las veinticuatro horas anteriores, y eran colocadas en una estufa de circulación forzada de aire para su desecación. En la estufa eran mantenidas veinticuatro horas a 60-65° C. Se verificaba la recogida de la totalidad de las heces correspondientes a los diez días del período de colección.

Las heces que se iban sacando de la estufa eran mantenidas en unos recipientes de plástico provistos de una tapadera también de plástico donde permanecían hasta el final del experimento. Veinticuatro horas después de finalizado el período de colección se pesaba la totalidad de las heces y se procedía a la preparación de la muestra media para ser analizada. Se tomaban dos muestras, una de ellas doble y de unos 50 gr. cada una, para efectuar en ella las determinaciones de la humedad. Al mismo tiempo se tomaba otra muestra de unos 500 gr. la cual era molida y en ella se realizaba la totalidad de los análisis químicos. Las muestras molidas de las heces eran conservadas en unos recipientes de plástico provistos de un cierre de rosca.

IV. 1. 3. *Recogida y preparación de la orina.*

La orina era recogida diariamente al mismo tiempo que se recogían las heces. En las botellas de recogida se colocaba todos los días una determinada cantidad de ácido sulfúrico al 25 por 100 con el fin de evitar las pérdidas de nitrógeno de la orina. La cantidad de sulfúrico era fijada de forma independiente para cada cordero de forma tal que lograra acidificar la orina eliminada por éste en las veinticuatro horas, para lo cual en los últimos días del período previo se realizaban las valoraciones de la orina de los distintos corderos para así conocer la cantidad de sulfúrico a añadir en su orina.

Para la acidificación de la orina también se puede utilizar el ácido clorhídrico, pero este ácido presenta el inconveniente de que la adición de un exceso, aunque sea pequeño, puede dar lugar durante la combustión de la orina en la bomba calorimétrica a la oxidación del ClH de acuerdo con la siguiente reacción:



El cloro así formado atacaría gravemente a las paredes de la bomba.⁴⁸ Por el contrario ligeros excesos de SO_4H_2 pueden ser utilizados sin peligro.

Hemos podido comprobar que en el caso de las orinas excesivamente acidificadas, la liofilización se efectuaba con una mayor dificultad y en ocasiones no se lograba la total desecación del producto.

La orina recogida diariamente era trasladada a unas botellas de plástico de quince litros de capacidad las cuales estaban en una cámara a -25° C. Se recogía la totalidad de la orina eliminada durante toda la fase de colección. Una vez finalizado el experimento, la orina era descongelada, perfectamente mezclada y pesada. Del total de la orina se tomaba una muestra media de unos 200 gr. los cuales se conservaban congelados a -25° C, hasta el momento de ser analizados.

IV. 1. 4. *Recogida y preparación de los alimentos.*

Antes de comenzar cada experimento se procedía a mezclar perfectamente la paja objeto de estudio, con el fin de lograr una máxima homogeneidad. Para ello se reunía la totalidad de la paja a emplear en los veinte días del experimento y sobre una superficie limpia se mezclaba a mano de la mejor manera posible. Este momento era aprovechado para proceder a tomar la muestra media que era molida y enviada al laboratorio para en ella efectuar las determinaciones químicas. Una parte de la muestra se conservaba en estado natural y en ella se determinaba la humedad, con el fin de conocer la cantidad de sustancia seca ingerida por los animales.

IV. 2. *Métodos analíticos.*

Para poder determinar los valores de energía digestible y de energía motabolizable, es preciso conocer la energía bruta de los alimentos, de los restos de alimentos, de las heces, de la orina y del metano. Con el fin de poder corregir el valor energético del nitrógeno urinario se realizaron balances de nitrógeno en todos los experimentos.

IV. 2. 1. *Sistemas calorimétricos.*

Para la determinación del calor de combustión de las diversas sustancias existen diversos tipos de bombas calorimétricas. Las bombas primitivas, denominadas isotérmicas proporcionan resultados de una gran exactitud pero requieren un gran trabajo por parte del operador y además requerían una técnica muy compleja. Durante el período de la determinación, que tiene una duración de una media hora es preciso hacer anotaciones de la temperatura en cada minuto. Para evitar estos inconvenientes de las bombas isotérmicas se idearon las bombas adiabáticas, en las cuales la temperatura del agua donde va colocada la bomba calorimétrica es mantenida constante, con lo que no se producen pérdidas calóricas. Estos aparatos han sido muy perfeccionados y se han automatizado completamente, lo cual simplifica su manejo de una forma notable.

Con los modernos aparatos adiabáticos se logra que la temperatura de la vasija exterior del aparato varíe de acuerdo con las modificaciones sufridas por la vasija interna mediante termostatos colocados en ambas vasijas, los cuales son dos ramas de un puente de Wheastone. Estos termostatos accionan un «relay» que hace funcionar el sistema de calentamiento de la vasija externa hasta que su temperatura se iguale de nuevo con la del agua colocada en el recipiente interior. Mediante una perfecta agitación en el agua de ambos recipientes puede lograrse que la diferencia de temperatura sea inferior a 0,1° C incluso durante el momento de subida más rápida.

La lectura de las temperaturas se efectúa con un termómetro Beckman, debiéndose de corregir las lecturas de acuerdo con el certificado del mismo que suministra la casa vendedora. NIJKAMP⁵² considera que para aumentar la exactitud de las determinaciones por encima del 0,50 % la diferencia de temperatura debe de ser corregida mediante la aplicación de una fórmula sencilla, derivada de la de REGNAULT-PFAUNDEBR.

Con este tipo de bomba un operador bien entrenado puede llevar a cabo cinco determinaciones de energía bruta cada dos horas, comprendiendo la pesada de la sustancia y la elaboración de la pastilla.

MILLER y PAYNE³³ describen un nuevo tipo de bomba calorimétrica, denominada «balística» (Ballistic Bomb Calorimeter), la cual puede ser empleada en la determi-

nación del calor de combustión en los experimentos de balances de energía. Con este tipo de aparatos se pueden efectuar diez explosiones en una hora, incluidas las pesadas. Se trata de aparatos menos costosos que las bombas convencionales. El error standard medio en seis determinaciones es del 1 por 100. Para obtener un error del 0,5 por 100, que es el deseado en los experimentos de balance de energía, es preciso la realización de quince determinaciones, lo cual supone 1-1/2 de tiempo, con lo que la ventaja de la rapidez sobre los sistemas adiabáticos ya no es tan acusada, pues en la mayoría de las ocasiones es suficiente con la realización de 4-5 determinaciones, lo cual supone una duración de unas dos horas.

ROBISON⁶² realizó un trabajo comparativo entre la bomba calorimétrica adiabática y la balística llegando a la conclusión de que el grado de variabilidad es algo superior en el caso de la bomba balística.

IV. 2. 2. *Determinación del calor de combustión de los alimentos.*

La determinación de la energía bruta de los alimentos fue efectuada a partir de la muestra media molida. Para la combustión en la bomba calorimétrica se pesaron cantidades de aproximadamente 1,5 gr., que eran hechas una pastilla, la cual se pesaba exactamente y era quemada en la bomba. Para aceptar un valor como definitivo se consideró que los valores de tres determinaciones paralelas no deberían tener un error superior al 0,5 %, error que según BLAXTER¹⁸ es adecuado para los estudios de balance de energía. Nosotros hemos quedado dentro de estos límites en la totalidad de las determinaciones.

La mayoría de los autores realizan la combustión de las sustancias sobre pastillas, pero otros afirman que es preferible llevarla a cabo sobre el material pulverulento.³³

En algunos experimentos nosotros hemos efectuado las determinaciones calorimétricas, tanto de las pajas como de las heces sin elaborar la pastilla, colocando la muestra pulverulenta en el crisol y comprimiéndola ligeramente. En la gran mayoría de los casos observamos una combustión perfecta, pero con ciertas muestras de heces la combustión se produce de una forma tan rápida y violenta, que las partículas quemadas son arrojadas contra las paredes de la bomba, habiendo dado lugar a daños de importancia en alguna junta de goma de la bomba. Debido a estos inconvenientes, nosotros continuamos nuestro trabajo elaborando la pastilla para verificar la combustión de las sustancias.

Cuando se elaboran las pastillas para ser quemadas, deben de hacerse un par de pastillas al mismo tiempo destinadas a determinar el contenido en humedad de las mismas.

La combustión de las muestras de un mismo experimento se llevó a cabo siempre en una misma serie de trabajo.

IV. 2. 3. *Determinación del calor de combustión de las heces.*

La energía bruta de las heces ha sido determinada a partir de las muestras de heces molidas después de haber sido desecadas a 60-65° C durante veinticuatro horas en estufa con circulación de aire forzado.

La desecación de las heces parece no satisfacer a muchos autores pues afirman que se producen pérdidas de energía, carbono y de nitrógeno.

COLOVOS,²⁶ afirma que durante la desecación de las heces se producen pérdidas significativamente elevadas, y recomienda el empleo del alcohol como sustancia iniciadora de la combustión en las heces frescas, con lo cual la técnica se hace sencilla, rápida y exacta. El método no nos parece muy adecuado en primer lugar porque es preciso hallar el calor de combustión por diferencia lo cual siempre supone una menor exactitud, error que se agrava al ser el calor desprendido por las heces notablemente inferior al del alcohol. En segundo lugar es difícil medir con precisión la cantidad exacta de alcohol a depositar en el crisol donde se va a verificar la combustión de la muestra. Pensamos en los errores de la técnica son superiores o iguales a las posibles pérdidas en componentes ricos en energía de las heces durante el proceso de la desecación. FLATT,³² encuentra para las heces desecadas a 89° C, un valor de combustión que es solamente inferior a un 3 por 100 del hallado por COLOVOS con las heces frescas. Más tarde BRATZLER y SWIFT,²⁰ han demostrado que el empleo del alcohol como sustancia favorecedora de la combustión no es correcto. Los citados autores realizaron la combustión de doce muestras de heces de ganado vacuno, de tres formas diferentes: en estado fresco empleando el alcohol, en estado fresco pero con el uso del ácido benzoico como sustancia iniciadora de la combustión, y finalmente de las heces desecadas durante veintidós horas a 65° C. Quemando las heces frescas con ácido benzoico, prácticamente obtuvieron los mismos resultados que en el caso de las heces desecadas por el calor, por lo que los autores citados recomiendan el empleo de muestras de heces desecadas en estufa con circulación forzada de aire durante un período de veintidós horas, y manteniendo una temperatura de 65°C. Las muestras así desecadas son de un manejo mucho más fácil y pueden ser almacenadas durante períodos de tiempo relativamente largos.

Para determinar el calor de combustión se pesó aproximadamente 1,5 gr. de sustancia, realizándose de forma análoga a la descrita para la paja.

La corrección para los ácidos formados no se efectuó ni en el caso de la combustión de las pajas, ni en el de las heces, debido primordialmente a que el contenido en proteína de las citadas sustancias es tan bajo que la posible cantidad de ácido nítrico es prácticamente insignificante, y no es preciso su determinación siempre que el error máximo tolerado no sea inferior al 0,5 por 100.

IV. 2. 4. *Determinación del calor de combustión de la orina.*

La determinación del calor de combustión de la orina ha presentado serias dificultades y diversos investigadores han ideado diversas técnicas, casi todas ellas basadas en la absorción de la orina sobre una sustancia de fácil combustión y de calor de combustión conocido, mediante las cuales se ha podido hallar de una forma indirecta el calor de combustión de la orina. Aunque los métodos utilizados, no proporcionaban una exactitud excesiva, esto no supone un peligro tan grave como pudiera parecer, puesto que la energía de la orina supone un 10 por 100 solamente de la energía metabolizable de un alimento.

El problema fundamental en el caso de la combustión de la orina, es el de realizar una desecación en la que no se produzcan pérdidas de sus componentes, en especial de nitrógeno, pues sabemos que es el principal elemento energético de la orina.

En principio⁵⁸ se procedía a la absorción de una determinada cantidad de orina sobre un bloque de celulosa, de peso y de calor de combustión conocidos, todo lo cual se desecaba sobre P₂O₅ en el vacío y a la temperatura de laboratorio. En un período de cuarenta y ocho horas la muestra estaba suficientemente desecada para poder

ser quemada en la bomba. Del calor total producido se restaba el debido a la celulosa y se obtenía el de la orina.

NIJKAMP⁵¹ critica este método y opina que para la completa oxidación del bloque de celulosa más la orina, 2/3 de la energía son aportados por la celulosa, mientras que solamente un tercio es proporcionado por la combustión de la orina, con lo que la determinación del valor de combustión de la orina se funda sobre un cálculo por diferencia, con una desfavorable relación celulosa-orina. Además de que las numerosas manipulaciones hacen posible el que puedan aparecer nuevas pérdidas.

Este mismo autor describe un nuevo método para la desecación de la orina, recomendando el empleo de unas bolsitas de polietileno, de peso y de calor de combustión conocidos, en las cuales se pone una cantidad pesada de orina, se deseca al vacío con gel de sílice y a una temperatura de 20°C. La desecación se logra al cabo de cuarenta y ocho horas. Los resultados obtenidos son superiores a los del método de la absorción sobre celulosa.

ERIKSSON,³⁰ presenta una nueva técnica en la cual, primeramente congela una determinada cantidad de orina que posteriormente evapora al vacío sobre P₂O₅. Durante el proceso, unas ocho horas, la orina desecada es colocada en un papel de filtro. La cantidad de papel y de orina están calculadas de forma que liberen ambos la misma energía térmica y que la elevación de temperatura en la bomba sea de unos 2° C.

Más recientemente BAERE, PAGUAY y LOUSE,¹¹ proponen un nuevo método para la desecación de las heces, de la orina y de la leche. El método descrito por estos autores se basa en una desecación efectuada en el vacío mediante la acción de un rotovapor y de una recuperación total del amoníaco sobre ácido sulfúrico. A continuación se quema el residuo que ha quedado de la desecación y el calor de la urea es hallado por titulación del nitrógeno libre. Una vez conocidos estos factores, el cálculo del valor energético se efectúa mediante la aplicación de unas fórmulas sencillas que los autores proponen en su trabajo.

PALADINES et al.⁵³ propone una técnica para la liofilización de la orina que es un método de desecación casi ideal y mucho más perfecto que todos los anteriormente descritos. La liofilización es hoy día utilizada por numerosos autores. DURNIN,²⁹ afirma que ha utilizado la liofilización durante varios años en experimentos de metabolismo en el hombre, señalando que los valores obtenidos en la combustión de la orina así desecada son muy reproducibles, y la técnica es sencilla.

SCHNEIDER⁶⁵ cita como ventajas de liofilización, en primer lugar la simplicidad del manejo, la rapidez en la desecación (una noche), en tercer lugar el calor medido durante la combustión corresponde exclusivamente a la orina.

En vista de las grandes ventajas que ofrece la liofilización, nosotros hemos efectuado todas las determinaciones de la energía bruta de la orina a partir de orina liofilizada.

Para liofilizar la orina colocamos 15-20 gr. de orina fresca perfectamente mezclada, en un frasco de vidrio de 100 centímetros cúbicos de capacidad, de boca estrecha y provisto de un tapón de goma. El frasco y el tapón eran pesados previamente con lo que el peso de la orina añadida se conoce por diferencia. La orina era congelada y trasladada al liofilizador y al final del proceso los frascos eran cerrados al vacío, lo cual hace que el período de conservación de la orina liofilizada sea prácticamente indefinido.

Pesando el frasco con tapón más el liofilizado y restando el peso de la tara, conocemos los sólidos contenidos en los gramos de orina pesada y mediante una simple regla de tres los sólidos por cien gramos de orina fresca. La orina es quemada en la

bomba calorimétrica sin hacer pastilla, siendo pesada en polvo directamente sobre el crisol en que va a realizarse la combustión. Para llegar a determinar la energía bruta de la orina se efectúa la corrección para el ácido sulfúrico formado durante la combustión, para lo cual es necesario restar 0,73 calorías por miligramo de SO₄H₂. En principio también efectuamos la corrección para el ácido nítrico formado, pero el valor obtenido prácticamente era despreciable y decidimos no tenerlo en consideración, pues no ejercía ninguna influencia sobre el resultado final.

El calor de combustión de la orina es expresado en Kcal. por 100 gr. de orina fresca.

Las determinaciones del calor de combustión de la orina eran efectuadas por triplicado, aceptándose un error máximo entre las tres determinaciones del 1 por 100. Hemos podido comprobar las afirmaciones de numerosos autores en el sentido de la gran reproducibilidad de los resultados obtenidos del calor de combustión de la orina liofilizada.

Para poder llegar a un conocimiento exacto de la energía metabolizable, las pérdidas energéticas de la orina deben de ser corregidas siempre que el organismo no se encuentre en equilibrio nitrogenado, es decir, que esté en balance positivo o negativo de nitrógeno. RUBNER⁶³ ha establecido un factor para efectuar esta corrección que consiste en la sustracción de 7,45 Kcal. por cada gramo de nitrógeno perdido por el organismo y en la adición de 7,45 Kcal. por cada gramo de nitrógeno almacenado por el mismo. Estos valores fueron obtenidos en experimentos con perros a los que se les suministró carne como fuente de proteína.

BLAXTER,⁴⁶ comprueba que, en experimentos realizados con ovejas a las que les suministraba caseína como fuente de nitrógeno, la pérdida energética por orina es notablemente inferior a los valores descritos por RUBNER. El valor obtenido por BLAXTER, es el de 5,40 Kcal./g. de nitrógeno eliminado por la orina. En nuestros experimentos hemos corregido los valores de la orina de acuerdo con los valores establecidos por BLAXTER.

IV. 2. 5. Determinación del metano producido y de su calor de combustión

Debido a que el Centro donde se ha realizado este trabajo no dispone de cámaras de respiración para poder efectuar la determinación directa del metano producido por los animales durante los distintos experimentos, su cálculo lo hemos hecho de una manera indirecta, mediante la aplicación de la fórmula que con tal fin ha sido propuesta por SWIFT, et. al. para su empleo en el ganado ovino. La citada fórmula emplea como predictor la cantidad de hidratos de carbono digestibles del alimento. La fórmula es la siguiente:

$$E = 2,41 x + 9,80$$

«E», representa el valor del metano en gramos, «X», es la cantidad de hidratos de carbono digeridos expresados en cientos de gramos.

El metano tiene un calor de combustión de 13,19 Kcal/g. (BROUWER).²²

IV. 3. Métodos químicos.

Los procedimientos analíticos seguidos con el fin de determinar los principios nutritivos brutos (sustancias seca, proteína bruta, cenizas, extracto etéreo, fibra bruta y lignina) de los alimentos y de las heces de los diferentes experimentos fueron en

líneas generales los indicados por la A. O. A. C.,⁷ de utilización normal en el laboratorio de análisis químicos de la Estación Agrícola Experimental de León; las pentosanas fueron determinadas por el método de TOLLENS-KROBER, y la celulosa por el de KURSCHNER.¹²

El contenido en sustancia seca se determinó por desecación en estufa a 102-103°C.

La grasa bruta mediante extracción en el Soxhlet, con el empleo de éter.

La proteína bruta ($N \times 6,25$), fue determinada por medio del Kjeldahl; utilizándose sulfato de zinc como catalizador.

Las cenizas por incineración en la mufla a 500-550°C.

La fibra bruta fue obtenida sometiendo a la muestra a una ebullición en SO_4H_2 , seguida de ebullición en NaOH, después de lo cual se filtra, se pesa, y se incinera en la mufla a 550°C.

La lignina fue determinada mediante una primera extracción con alcohol-benceno seguida de una digestión con pepsina-ClH, posteriormente se le deja hervir a reflujo con SO_4H_2 al 5 por 100, después de varios lavados con alcohol se coloca el residuo obtenido en SO_4H_2 al 72 por 100, se filtra y el filtrado obtenido nuevamente es hervido a reflujo con sulfúrico al 3 por 100, volviendo a filtrar; el filtrado así obtenido es desecado en la estufa, se pesa y se quema en la mufla a 500°C.

El valor de las pentosanas se obtiene colocando una muestra en un matraz con ClH al 12 por 100 en peso, produciéndose una ebullición y destilándose el furfural, el cual es recogido y tratado con fluroglucina disuelta en ClH. Se forma un precipitado el cual se recoge sobre un papel de filtro, se deseca en la estufa y se pesa.

La celulosa se determina colocando la muestra en un matraz provisto de un refrigerante de aire con junta esmerilada; en el citado matraz se coloca ácido acético al 80 por 100 y ácido nítrico concentrado y se le somete a ebullición, se filtra y se lava varias veces con alcohol benzol caliente y nuevamente con alcohol caliente y finalmente con éter. El residuo obtenido se deseca y se quema en la mufla.

Todos los análisis fueron efectuados a partir de las muestras medias desecadas y molidas, como ya se ha indicado anteriormente. Todas las determinaciones fueron efectuadas por duplicado. Las determinaciones de un mismo experimento fueron todas realizadas en una misma serie de trabajo.

La materia orgánica y los M. E. L. N. fueron calculados por diferencia.

El contenido de nitrógeno de la orina fue realizado sobre orina fresca por el método Kjeldhal, pesando alrededor de un gramo de orina.

V. RESULTADOS Y DISCUSION

V. 1. Estado físico y composición química de las pajas de leguminosas.

En el presente trabajo se han estudiado las pajas de leguminosas siguientes: lentejas, algarrobas, almortas, yeros, veza, guisantes, garbanzos, alubias y habas. En lo que se refiere a su estado físico podemos considerar similares a las pajas de lentejas, algarrobas, almortas, yeros, veza y garbanzos, todas las cuales eran pajas procedentes de la trilla y se encontraban en un grado de molturación superior al de las pajas restantes, presentando sus partículas más groseras un tamaño máximo de unos dos a tres centímetros de longitud y un grosor máximo de unos dos milímetros. El

color de todas ellas es oscuro. En todas se aprecia la existencia de vainas y de hojas además de los tallos. encontrándose alguna semilla en ocasiones. Las restantes pajas las podemos agrupar en un segundo grupo debido a que presentan partículas mucho más groseras que las primeras; las pajas de alubias y de habas proceden de apaleamiento, mientras que la de guisantes procede de la trilla; el tamaño máximo de las partículas más groseras de estas pajas alcanza valores de 10 a 12 cm., siendo el grosor máximo de unos 3 a 5 mm. (en el caso de las pajas de habas).

Las pajas fueron perfectamente ingeridas por los animales siendo la de garbanzos la que consumieron con una mayor avidez, y la de habas la que consumieron con mayor dificultad, mostrando las pajas restantes una apetecibilidad muy semejante entre sí, pudiendo destacar ligeramente en este sentido a las de alubias y guisantes inmediatamente después de la de garbanzos.

V. 2. Composición química.

La composición química de las pajas de leguminosas estudiadas, presenta un valor intermedio entre un heno de mala calidad y el de las pajas de cereales. Destaca su elevado contenido en fibra bruta, el cual varía entre valores de 32,6 para el caso de la paja de yeros y 44,2 para la paja de guisantes, cifras que solamente son superadas por las pajas de cereales, las cuales presentan contenidos en fibra bruta del orden de 43-46 por 100.⁶² Además del elevado contenido en fibra bruta destaca el hecho de que son alimentos que se encuentran en un avanzado estado de lignificación, presentando valores de lignina muy elevados, los cuales varían desde 6,3 en el caso de la paja de yeros hasta 10,4 en la paja de lentejas. Destaca también el elevado contenido en cenizas de algunas de las pajas estudiadas, teniendo la de almortas un 13,4 por 100. Junto al elevado contenido en elementos fibrosos, los cuales se encuentran en relación inversa con el valor de un alimento, las pajas de leguminosas presentan un bajo contenido en proteína, observándose la existencia de diferencias entre las distintas pajas, destacando las de yeros y de garbanzos por su mayor contenido en proteína bruta y las de lentejas y alubias por tener el contenido en proteína más bajo de todas las pajas estudiadas. El resto de las pajas presenta valores de proteína muy similares y que varían dentro de límites muy estrechos.

Del simple estudio de la composición química de las pajas de leguminosas se puede observar que la paja que presenta mejores características es la de yeros, ya que junto a un elevado contenido en proteína presenta los valores más bajos en sustancias de sostén vegetal de todas las pajas analizadas. Las restantes pueden considerarse de un valor parecido no pudiendo destacarse ninguna en sentido negativo por un simple estudio de la composición química.

La composición química de las pajas está expresada en la tabla número 1.

V. 3. El contenido en energía bruta de las pajas de leguminosas.

Las pajas de leguminosas estudiadas por nosotros presentan un contenido medio en energía bruta de 4,200 Kcal/kg. de sustancia seca, valor muy similar al obtenido por WALKER⁷¹ en un estudio con 24 henos. El heno de alfalfa tiene una energía bruta de 4,500 Kcal/kg. Las pajas de cereales presentan un valor de energía bruta muy similar, siendo su calor de combustión de unas 4,400 Kcal/kg. Esta similitud en el contenido de energía bruta de alimentos de naturaleza diferente es un buen ejemplo del escaso valor que la energía bruta tiene como índice de la calidad de los alimentos para los rumiantes.

TABLA NUMERO I
Composición química de las pajas de leguminosas
EXPRESADO EN % DE SUSTANCIA SECA

Paja	Hume.	S. S.	S. O.	Cen.	Gras.	Fibra	Prot.	Meln.	Celul.	Lign.	Pento.	E. Bruta Kcal/kg.
Lentejas ...	7,27	92,73	91,47	8,53	3,21	43,01	6,71	38,54	33,85	10,36	20,05	4,294
Algarrobas .	11,44	88,56	90,53	9,47	2,40	39,53	8,68	39,82	38,13	9,57	23,14	4,285
Almortalas ...	9,04	90,06	86,58	13,42	3,34	40,33	8,06	34,85	35,43	8,94	21,65	4,149
Yeros	9,06	90,94	89,39	10,61	2,83	31,55	9,29	45,72	28,11	6,26	28,74	4,251
Veza	10,16	89,84	90,52	9,38	2,21	37,92	7,41	43,08	34,69	9,34	25,63	4,261
Guisantes ..	12,20	87,80	91,54	8,46	1,06	44,22	8,08	37,34	40,97	8,17	19,92	4,129
Garbanzos .	13,26	86,74	91,91	8,09	1,86	56,90	9,92	43,23	34,45	8,78	18,54	4,201
Alubias	12,37	87,63	93,92	6,08	1,48	42,55	6,35	43,54	49,45	8,72	16,05	4,119
Habas	11,35	88,65	87,41	12,61	1,04	38,97	7,37	40,03	42,10	9,89	15,40	4,012

TABLA NUMERO II
Energía digestible de las pajas de leguminosas
EXPRESADO EN KCal/KG. DE S. S.

Cordero	Yeros	Garbanzos	Alubias	Algarrobas	Guisantes	Veza	Lentejas	Almortalas	Habas	Cordero
1	—	—	—	—	—	—	2,310	—	—	1
2	2,647	—	2,374	2,350	2,448	—	—	—	—	2
3	2,717	—	2,315	2,343	2,431	—	—	—	—	3
4	2,601	—	2,486	2,404	2,248	—	—	—	—	4
5	2,654	—	—	2,361	2,353	—	—	—	—	5
6	—	—	—	—	—	—	2,118	—	—	6
7	—	—	2,398	—	2,427	—	2,291	2,115	—	7
8	—	—	—	—	—	—	2,299	2,231	—	8
9	—	2,438	—	—	—	2,263	—	2,145	2,081	9
10	2,681	—	2,269	2,435	2,286	—	—	—	—	10
11	—	2,450	—	—	—	2,206	2,198	2,090	1,969	11
12	2,666	2,500	—	2,310	—	—	—	—	2,037	12
13	—	2,475	—	—	—	2,276	2,304	2,148	2,108	13
14	—	2,500	—	—	—	2,339	—	2,190	2,017	14

Hemos efectuado un análisis estadístico para conocer las posibles correlaciones existentes entre la energía bruta y la composición química de las pajas estudiadas, no habiendo encontrado ninguna correlación significativa. Esta ausencia de correlación puede ser debida a las escasas diferencias en la composición química de las distintas pajas. Hemos de tener presente que los elementos más ricos en energía, como son las grasas y las proteínas, se encuentran presentes en cantidades muy bajas y además se ven compensadas por los restantes componentes. Tampoco se ha encontrado ninguna correlación entre la lignina y el contenido en energía bruta, como podría esperarse del mayor valor energético de la lignina.

Los valores de energía bruta de las pajas estudiadas se encuentran en la Tabla número 1.

V. 4. El contenido en energía digestible.

En la tabla número II, se expresan los valores de energía digestible de las pajas de leguminosas estudiadas por nosotros, figurando los valores individuales de los diferentes corderos que intervinieron en cada uno de los experimentos. En el citado cuadro se puede apreciar que no existen diferencias entre los corderos que participaron en un mismo experimento, encontrándose los valores de los distintos animales muy agrupados en torno a la media. Las diferencias halladas, por otra parte, pueden ser consideradas como normales en un experimento de digestibilidad ya que las variaciones individuales es imposible eliminarlas de una forma absoluta.

En la tabla número III se expresan los valores de energía digestible de las pajas estudiadas.

TABLA NUMERO III
Energía digestible de las pajas de leguminosas

Paja	Energía digestible Kcal/Kg. ss.
Yeros	2.662 ± 20
Garbanzos	2.473 ± 14
Alubias	2.368 ± 42
Algarrobas	2.367 ± 23
Guisantes	2.366 ± 42
Veza	2.271 ± 27
Lentejas	2.253 ± 34
Almortalas	2.153 ± 26
Habas	2.042 ± 27

En la citada tabla se observa que los valores de energía digestible de las pajas de leguminosas oscilan entre 2.662 ± 20 Kcal/Kg. para la paja de yeros, y 2.042 ± 27 Kcal/Kg. para el caso de la paja de habas, siendo el valor medio de las pajas estudiadas de 2.300 Kcal/Kg de sustancia seca. WALKER y HEPBURN, obtienen en un estudio de 24 henos un valor medio de energía digestible de 2.500 Kcal/Kg. El heno de alfalfa tiene 2.940 Kcal/Kg. de energía digestible.³⁷ Las pajas de cereales tienen un contenido de energía digestible de 2.100 Kcal/Kg. (calculado a partir de los valores de T. D. N., publicados por SCHNEIDER.⁶⁴)

La digestibilidad de la energía de las pajas de leguminosas varió entre valores de 62,6 por 100 para la paja de yeros, a 51,9 por 100 para la paja de almortas, teniendo un valor medio las nueve pajas estudiadas de 56 por 100. Comprobamos que la digestibilidad de la energía de nuestras pajas es notablemente inferior a las del heno de alfalfa, que presenta una digestibilidad de su energía de 65 por 100.³⁷ La digestibilidad obtenida por WALKER,⁷¹ en su estudio con 24 henos es del 58 por 100, valor que se aproxima al de nuestras pajas. Las pajas de cereales presentan una digestibilidad de su energía del 48 por 100, valor que es explicable debido al elevado contenido en fibra bruta de estos alimentos.

En la tabla número IV, se expresan los coeficientes de digestibilidad de las pajas de leguminosas.

TABLA IV

Digestibilidad de la energía de las pajas de leguminosas

Paja	Energía digestible en % de la E. Bruta
Yeros	62,6
Garbanzos	58,9
Alubias	57,6
Algarrobas	55,1
Guisantes	57,4
Veza	53,4
Lentejas	52,3
Almortas	51,9
Habas	52,5

TABLA NUMERO V

Coefficientes de correlación entre la energía digestible de las pajas de leguminosas y:

Materia orgánica digestible	0,924
Lignina	-0,790
M. E. L. N. digestible	0,780
Carbohidratos solubles	0,720
Hidratos de carbono brutos digestibles	0,714
M. E. L. N. brutos	0,689
Sustancias de sostén brutas	-0,575
Fibra bruta	-0,564
Celulosa bruta	-0,369
Pentosanas digestibles	-0,158
Celulosa digestible	-0,147
Fibra bruta digestible	-0,061
Sustancias de sostén digestibles	-0,090
Pentosanas	-0,066

El estudio del análisis estadístico efectuado para comprobar las correlaciones existentes entre el contenido en energía digestible, la composición química y los diferentes principios digestibles de las pajas de leguminosas proporcionó los resultados que figuran en la tabla núm. V.

Es de notar la elevada correlación existente entre el contenido en lignina y la energía digestible, correlación que es de signo negativo y que presenta un valor absoluto de -0,790. Esto nos indica la importancia que tiene el grado de lignificación de las plantas como factor limitante de su valor como alimento para el ganado. Esta elevada correlación obtenida por nosotros entre la lignina y el contenido en energía digestible confirma la hipótesis de algunos autores, que como LANCASTER, FORBES, GARRIGUS y HOMB,⁴³ indican que la lignina tiene un mayor valor de predicción de la calidad de un alimento, que el contenido en fibra bruta, y encuentran correlaciones muy elevadas entre el contenido en lignina y la digestibilidad de la materia orgánica (-0,978). Estos resultados confirman la opinión de numerosos autores de que la separación de los hidratos de carbono en M. E. L. N., y en fibra bruta no ofrece la exactitud deseable, por tratarse de entidades químicas poco homogéneas y que carecen de un significado concreto. El empleo de la fibra bruta como sustancia predictora del valor de los alimentos ha sido muy criticado por un gran número de investigadores, entre ellos THOMAS y ARMSTRONG.⁶⁹ La correlación que nosotros hemos obtenido en nuestras pajas entre el contenido en fibra bruta y la energía digestible, es de signo negativo, y no muy elevada (-0,564), notablemente inferior a la obtenida para la lignina, siendo un valor que se encuentra de acuerdo con las opiniones citadas, y reafirma el escaso significado de la fibra bruta para predecir el valor de un pienso.

PALOHEIMO,⁵⁴ critica el empleo de la fibra bruta y afirma que este término no tiene el mismo significado en el alimento y en las heces correspondientes a ese alimento, debido fundamentalmente a que la lignina en las heces aparece en parte incluida en los M. E. L. N. Este autor propone el empleo de lo que él denomina «hidratos de carbono brutos digestibles» (Verdaulichen Rohkohlenhydrate), término que incluye juntamente a la fibra bruta y a los M. E. L. N., digestibles. En nuestras pajas el coeficiente de correlación entre los hidratos de carbono brutos digestibles de PALOHEIMO y la energía digestible es de 0,714, que es notablemente superior al obtenido para la fibra bruta, aunque no tan alto como el encontrado para la lignina.

Entre los M. E. L. N. y la energía digestible se ha obtenido un coeficiente de correlación muy similar al de los hidratos de carbono brutos digestibles, con un valor de 0,760.

Es de notar la ausencia de correlación entre las diversas sustancias de sostén vegetal, a excepción de la lignina, y la energía digestible.

Finalmente hemos de destacar que, como era de esperar, existe una elevadísima correlación entre la digestibilidad de la materia orgánica y la energía digestible. El coeficiente obtenido por nosotros para las pajas de leguminosas es de 0,924.

El resto de los valores puede comprobarse en la tabla núm. V.

V. 5. El contenido en energía metabolizable.

La determinación de la energía metabolizable fue realizada experimentalmente en seis de las nueve pajas estudiadas. Las pajas en que se llevó a cabo la determinación experimental fueron: yeros, veza, guisantes, garbanzos, alubias y habas. En las pajas de lentejas, algarrobas y almortas, su contenido en energía metabolizable

fue determinado mediante la aplicación de una ecuación de regresión basada en los principios digestibles, debida a NEHRING.¹⁸ La citada fórmula fue aplicada a nuestros propios datos de digestibilidad obtenidos experimentalmente para las pajas de leguminosas.

El contenido en energía metabolizable de las pajas de leguminosas está expresado en la tabla núm. VI. Los valores obtenidos varían entre 1.710 ± 32 Kcal/kg. para la paja de habas y 2.239 ± 27 para el caso de la paja de yeros. El valor medio de las nueve pajas es de 1.970 Kcal/kg. de sustancia seca.

El heno de alfalfa tiene un contenido en energía metabolizable de 2.438 Kcal/kg.³⁷ WALKER, en su trabajo ya citado varias veces, obtiene para los 24 henos estudiados un valor medio de unas 2.200 Kcal/kg. de energía metabolizable. Observamos que estos valores son notablemente superiores a los de nuestras pajas y se encuentran en íntima relación con la superior digestibilidad de estos forrajes respecto a nuestras pajas, ya que las pérdidas por las heces son las que tienen una mayor importancia, pues las pérdidas por metano y por la orina son reducidas y muy similares.

No se dispone de valores determinados experimentalmente del contenido en energía metabolizable de las pajas de cereales. Realizando el cálculo a partir de su contenido en T. D. N.⁶⁴ encontramos que las citadas pajas presentan una energía metabolizable notablemente inferior al de las leguminosas, como era de esperar dada su menor digestibilidad. El valor obtenido mediante este cálculo es de 1.300 Kcal/kg.

En la tabla VII, figuran los valores de energía metabolizable de las seis pajas en que fue determinada experimentalmente, con expresión de los valores individuales de todos los corderos que intervinieron en los diferentes experimentos. No se observaron diferencias apreciables entre los diversos corderos que participaron en el mismo experimento, lo cual era de esperar al no existir estas diferencias en el caso de la energía digestible, ya que las pérdidas urinarias y de metano son muy constantes en todos los corderos.

Entre las pajas estudiadas se encuentran algunas diferencias notables en su contenido en energía metabolizable, existiendo una diferencia de 500 Kcal. entre las dos

TABLA NUMERO VI

Energía metabolizable de las pajas de leguminosas.

Paja	ENERGIA METABOLIZABLE Kcal/kg. ss.
Yeros	2,239 \pm 27
Garbanzos	2,099 \pm 15
Alubias	2,087 \pm 39
Guisantes	2,027 \pm 41
Algarrobas ¹	1,993 \pm 50
Veza	1,945 \pm 28
Lentejas ¹	1,867 \pm 50
Almortas ¹	1,763 \pm 50
Habas	1,710 \pm 32

¹ Los valores de energía metabolizable de estas pajas fueron calculados mediante el empleo de la fórmula de NEHRING.

TABLA NUMERO VII

*Energía metabolizable de las pajas de leguminosas
Expresada en Kcal/kg. de s.s.*

Cordero	Yeros	Garbanzos	Alubias	Guisantes	Veza	Habas
1	—	—	—	—	—	—
2	2.218	—	2.097	2.112	—	—
3	2.318	—	2.025	2.084	—	—
4	2.164	—	2.194	1.907	—	—
5	2.211	—	—	2.019	—	—
6	—	—	—	—	—	—
7	—	—	2.116	2.083	—	—
8	—	—	—	—	—	—
9	—	2.054	—	—	1.924	1.754
10	2.254	—	1.992	1.959	—	—
11	—	2.083	—	—	1.887	1.626
12	2.268	2.119	—	—	—	1.718
13	—	2.124	—	—	1.948	1.785
14	—	2.116	—	—	2.019	1.667

pajas extremas. Como era de esperar la paja de yeros es la que presenta un mayor valor de energía metabolizable y la paja de habas es la que tiene un contenido en energía metabolizable más bajo. Comparando las tablas números IV y VI, puede comprobarse la estrechísima relación existente entre la energía digestible y la energía metabolizable, lo que es perfectamente lógico y normal.

El porcentaje de la energía digestible que pasa a ser metabolizable en nuestras pajas, tiene un valor medio, para las nueve estudiadas, de 84,7 por 100 valor que es ligeramente superior al aceptado del 82 por 100. En el heno de alfalfa un 82,9 de la energía digestible es metabolizable. WALKER,⁷¹ en su estudio con 24 henos encuentra que el 88 por 100 de la energía digestible es metabolizable. En lo que se refiere a las pajas de cereales, como no se dispone de valores determinados experimentalmente, los datos no presentan una gran exactitud, pero es de destacar que el resultado calculado a partir de su contenido en T. D. N., indica que solamente un 61,9 por 100 de la energía digestible es metabolizable. Los porcentajes ligeramente superiores a la media aceptada para el resto de los alimentos pueden explicarse debido a que las pérdidas urinarias son muy pequeñas, dado el escaso contenido en proteína de la ración, mientras que las pérdidas de metano son prácticamente constantes.

En las pajas de leguminosas, el 47 por 100 de la energía bruta es metabolizable, variando entre los valores de 52,7 por 100 para el caso de la paja de yeros y 42,5 por 100 para la de lentejas. En el caso del heno de alfalfa el porcentaje de energía bruta que es metabolizable es el 54 por 100 mientras que en las pajas de cereales solamente un 29 por 100 de su energía bruta es metabolizable (valor calculado a partir del contenido en T. D. N.).

Todos estos resultados se encuentran expresados en la tabla número VIII.

Los resultados obtenidos con nuestras pajas de leguminosas vienen a confirmar una vez más la escasa importancia de la energía bruta como medida de valoración de los alimentos para los rumiantes, pues hemos visto que distintos alimentos con un contenido en energía bruta muy parecido presentan valores de energía metabolizable nota-

blemente diferentes; diferencias que fundamentalmente se deben a la distinta digestibilidad de la energía en los alimentos comparados, la cual a su vez se encuentra fuertemente influenciada por el grado de lignificación de los mismos

TABLA NUMERO VIII

Paja	Energía metabolizable en % E. Bruta	Energía metabolizable en % E. Digestible
Yeros	52,7	84,1
Garbanzos	50,0	84,9
Alubias	50,7	88,2
Guisantes	49,1	85,8
Algarrobas ¹	46,5	84,2
Veza	45,6	85,7
Lentejas ¹	43,5	82,9
Almortas ¹	42,5	81,9
Habas	42,6	84,7

¹ Los valores de energía metabolizable de estas pajas fueron calculados mediante el empleo de la fórmula de NEHRING.

TABLA NUMERO IX

Coefficientes de correlación entre la energía metabolizable de las pajas de leguminosas y:

Materia orgánica digestible	-0,972
Hidratos de carbono bruto digestibles	-0,860
Lignina	-0,840
Carbohidratos solubles	-0,717
M. E. L. N. digestibles	0,704
M. E. L. N. brutos	0,562
Sustancias de sostén	-0,491
Celulosa bruta	-0,393
Fibra bruta	-0,356
Celulosa digestible	-0,224
Sustancias de sostén digestibles	-0,168
Pentosanas digestibles	0,129
Pentosanas	-0,095
Fibra bruta digestible	-0,041

En la tabla núm. IX se muestran los resultados obtenidos en el análisis estadístico, realizado para determinar las correlaciones existentes entre el contenido en energía metabolizable y los diferentes principios brutos y digestibles de las pajas de leguminosas. Como era de esperar los coeficientes obtenidos son muy similares a los hallados para el caso de la energía digestible, presentando valores absolutos ligeramente superiores. Es de destacar la elevada correlación existente entre el contenido en lignina y

la energía metabolizable, que da un valor de -0,840, que solamente es superado por el de la materia orgánica y el de los «hidratos de carbono brutos digestibles». El coeficiente de correlación existente entre la digestibilidad de la materia orgánica y la energía metabolizable es 0,972. En la tabla núm. IX, aparecen expresados el resto de los valores obtenidos, siendo de destacar el elevado factor obtenido para los hidratos de carbono brutos digestibles de PALOHEIMO (0,860), valor que es muy similar al hallado para la lignina. Como sucedía en el caso de la energía digestible, no se encontraron coeficientes de correlación significativos entre la fibra bruta, las sustancias de sostén vegetal y la energía metabolizable.

Aunque nuestra serie de datos no es muy amplia estos se encuentran dentro de los márgenes de las cifras manejadas por otros autores. BROUWER,²¹ realiza un análisis estadístico de este tipo con nueve henos; PHILLIPS y LOUGHLIN,⁵⁵ estudian una serie de siete y de diez muestras. Nuestro estudio comprende nueve pajas diferentes con un total de 54 corderos.

Nuestros resultados no pueden ser considerados aisladamente como datos absolutos, sino que deberán considerarse junto a los alimentos parecidos ya estudiados. Tienen un marcado interés teórico debido a que se trata de alimentos con un elevado contenido en fibra bruta y en un elevado grado de lignificación, ocupando un puesto intermedio entre los henos y las pajas de cereales.

V. 6. Las pérdidas energéticas por la orina y los gases de las pajas de leguminosas.

En la tabla núm. X, figuran los balances completos de energía llevados a cabo con las seis pajas de leguminosas, en los que figuran los valores individuales de cada uno de los corderos que intervinieron en la experimentación. Es de resaltar que las pérdidas energéticas por la orina son muy semejantes para los diferentes corderos de un mismo experimento. Entre las distintas pajas sí que se observan diferencias en las pérdidas energéticas sufridas a través de la orina, las cuales son debidas fundamentalmente al distinto contenido en proteína de las pajas. Las pajas de garbanzos y de yeros, que

TABLA NUMERO X

Energía metabolizante de las pajas de leguminosas.

Paja de Yeros

Cordero N.º	Sustancia seca inge- rida por día, kgs.	Ingerida alimento	Energía, Kcal/kg. s. seca ingerida			Energía me- tabolizable
			P E R D I D A S			
			Heces	Orina	Metano	
2	0,529	4.251	1.604	237	192	2.218
3	0,529	»	1.534	203	196	2.318
4	0,525	»	1.650	246	191	2.164
5	0,529	»	1.597	246	197	2.211
10	0,529	»	1.564	240	193	2.254
12	0,527	»	1.585	207	191	2.268

TABLA NUMERO X
Energía metabolizable de las pajas de leguminosas
Paja de garbanzos

Cordero N.º	Sustancia seca inge- rida por día, kgs.	Energía, Kcal/kg. de s. seca ingerida				
		Ingeridas alimento	P E R D I D A S			Energía me- tabolizable
			Heces	Orina	Metano	
0	0,515	4.201	1.763	200	184	2.054
11	0,514	»	1.751	186	181	2.083
12	0,512	»	1.701	197	184	2.119
13	0,515	»	1.726	168	183	2.124
14	0,513	»	1.701	198	186	2.116

Energía metabolizable de las pajas de leguminosas
Paja de alubias

Cordero N.º	Sustancia seca inge- rible por día, kgs.	Energía, Kcal/kg. de s. seca ingerida				
		Ingeridas alimento	P E R D I D A S			Energía me- tabolizable
			Heces	Orina	Metano	
2	0,623	4.119	1.745	81	196	2.097
3	0,623	»	1.804	86	194	2.035
4	0,609	»	1.633	94	198	2.194
7	0,623	»	1.721	87	195	2.116
10	0,603	»	1.850	82	195	1.992

Energía metabolizable de las pajas de leguminosas
Paja de guisantes

Cordero Núm.	Sustancia seca inge- rida por día, kgs.	Energía, Kcal/kg. de s. seca ingerida				
		Ingeridas alimento	P E R D I D A S			Energía me- tabolizable
			Heces	Orina	Metano	
2	0,528	4.129	1.681	145	191	2.112
3	0,528	»	1.698	155	192	2.084
4	0,516	»	1.881	155	186	1.907
5	0,528	»	1.770	148	186	2.019
7	0,523	»	1.702	153	191	2.083
10	0,524	»	1.843	146	181	1.959

TABLA NUMERO X
Energía metabolizable de las pajas de leguminosas
Paja de veza

Cordero Núm.	Sustancia seca inge- rida por día, kgs.	Energía, Kcal/kg. de s. seca ingerida				
		Ingeridas alimento	P E R D I D A S			Energía me- tabolizable
			Heces	Orina	Metano	
9	0,518	4.261	1.998	162	177	1.924
11	0,467	»	2.055	142	177	1.887
13	0,517	»	1.985	153	175	1.946
14	0,520	»	1.922	138	182	2.019

Energía metabolizable de las pajas de leguminosas
Paja de habas

Cordero Núm.	Sustancia seca inge- rida por día, kgs.	Energía, Kcal/kg. de s. seca ingerida				
		Ingeridas alimento	P E R D I D A S			Energía me- tabolizable
			Heces	Orina	Metano	
9	0,476	4.012	1.931	151	176	1.754
11	0,437	»	2.043	158	185	1.626
12	0,483	»	1.975	151	168	1.718
13	0,479	»	1.904	148	175	1.785
14	0,432	»	1.995	162	188	1.667

presentan un mayor contenido de proteína, son las que tienen unas pérdidas energéticas urinarias superiores a las de las pajas restantes. La paja de alubias, cuyo contenido de proteína es notablemente inferior al del resto de las pajas, también experimenta unas pérdidas energéticas urinarias inferiores. Las restantes pajas presentan valores intermedios y muy similares pues su contenido en proteína también varía dentro de estrechos límites.

La pérdida energética media a través de la orina fue de 160 Kcal/por Kg. de sustancia seca ingerida, valor que es similar al de otros alimentos de composición parecida. En el caso del heno de soja,³⁷ las pérdidas urinarias son de 196 Kcal/kg., mientras que en la paja de soja solamente suponen 42 Kcal./kg. El heno de alfalfa, que tiene un contenido en proteína muy superior, presenta unas pérdidas urinarias de 248 Kcal/kg. La paja de soja tiene un contenido en proteína del 5 por 100.

En un capítulo anterior hemos visto que existen diversas fórmulas de regresión para poder conocer el valor de las pérdidas energéticas de la orina, las cuales se fundan en el conocimiento del nitrógeno urinario, del de la ración y también del contenido en energía digestible. Nosotros hemos aplicado alguna de estas fórmulas a nuestros resultados experimentales para comprobar cuál es la que proporciona resultados

más de acuerdo con la realidad. En la tabla núm. XI figuran los resultados de esta comparación.

En una reciente publicación del Agricultural Research Council⁶⁸ se afirma que la predicción de las pérdidas energéticas de la orina se realiza con una mayor exactitud mediante el conocimiento de la digestibilidad de la energía, en lugar de emplear las fórmulas basadas en el conocimiento del nitrógeno de la ración. En el caso de nuestras pajas no hemos podido comprobar esta afirmación, habiendo observado, por el contrario, una gran concordancia entre los valores hallados mediante el empleo de una fórmula basada en el nitrógeno de la ración debida a BLAXTER, y los resultados obtenidos directamente realizando la combustión de la orina en la bomba calorimétrica. El empleo de la fórmula de ARMSTRONG,⁶ basada en el conocimiento de la energía digestible nos da resultados que no coinciden con los obtenidos experimentalmente, como se puede comprobar en la tabla núm. XI

TABLA NUMERO XI

Comparación de los valores de las pérdidas energéticas de la orina calculados mediante las ecuaciones de ARMSTRONG y BLAXTER, con los obtenidos experimentalmente.

Paja	Valor experimental	Fórmula BLAXTER	Fórmula ARMSTRONG
Yeros	5,4 ¹	3,9 ¹	6,7 ¹
Garbanzos	4,5	4,1	6,1
Guisantes	3,6	3,6	5,9
Veza	3,5	3,5	5,4
Habas	3,7	3,4	5,3
Alubias	2,1	3,2	6,0

¹ Todos los valores están expresados en Kcal / 100 Kcal. ingeridas.

Se comprueba la existencia de una elevada correlación entre el contenido de proteína de las pajas estudiadas y la cuantía de las pérdidas energéticas urinarias, alcanzando un coeficiente de correlación de 0,867. Como era de esperar, la correlación existente entre el contenido en nitrógeno de la orina y las pérdidas energéticas por la misma es alta; en nuestras pajas el coeficiente de correlación encontrado fue de 0,777. Nosotros no hemos podido encontrar una correlación elevada entre la energía digestible y las pérdidas energéticas urinarias, obteniendo un coeficiente de correlación de 0,540.

La energía bruta de la orina guarda naturalmente una elevada correlación con su contenido en nitrógeno, según hemos podido confirmar en nuestros experimentos. Para ello hemos efectuado un análisis estadístico con los 31 corderos que han intervenido en los experimentos de determinación de la energía metabolizable, habiendo obtenido un coeficiente de 0,878. Hemos realizado un estudio semejante para comprobar la correlación existente entre el contenido en nitrógeno de la ración y la energía bruta de la orina, habiendo obtenido también un coeficiente elevado de 0,841. De estos estudios se puede deducir que, para ciertos fines, las pérdidas energéticas urinarias pueden determinarse simplemente a partir del contenido en proteína de la ración.

En las pajas de leguminosas estudiadas, las pérdidas urinarias representan un 3,8 por 100 de la energía bruta, valor medio para las seis pajas en que se realizó la determinación experimental. Los valores máximos son los de 5,4 por 100 en el caso de la paja de yeros y 2,1 por 100 para la paja de alubias. En el caso del heno de alfalfa las pérdidas energéticas de la orina representan un 5,5 por 100 de la energía bruta, y para el heno de soja el 4,5 por 100.

La fracción de la energía digestible que se pierde a través de la orina supone un 6,7 por 100 como media para las seis pajas. En el caso de la paja de yeros la pérdida urinaria supone el 8,7 por 100 de la energía digestible, mientras que en la de alubias, es solamente del 3,6 por 100, valor que es notablemente inferior al de las restantes pajas y que puede explicarse debido al bajo contenido en proteína de la mencionada paja. En el caso del heno de alfalfa, el 8,4 por 100 de la energía digestible se pierde a través de la orina y el 8,5 por 100 en el caso del heno de soja, siendo en la paja de soja del 2,5 por 100.

Las pérdidas gaseosas en forma de metano han sido calculadas de una forma indirecta mediante la aplicación de la ecuación de regresión debida a SWIFT et. al.⁶⁷ en la que se utilizan los hidratos de carbono digestibles para conocer el metano formado; dicha fórmula ya se ha presentado en un capítulo anterior.

En la tabla núm. X, se puede apreciar que los valores del metano son muy constantes para los corderos de un mismo experimento así como para las diferentes pajas entre sí, siendo mínimas las variaciones entre las distintas pajas.

Los valores obtenidos para la pérdida a través del metano son los normales para este tipo de alimentos, representando un 4,5 por 100 de la energía bruta. En el caso del heno de alfalfa es del 5,6 por 100 y 4,8 por 100 para el heno de soja.

El 8 por 100 de la energía digestible de las pajas es perdido en forma gaseosa. En el heno de soja, esta pérdida es del 9,0 por 100 y de 8,6 por 100 para el caso del heno de alfalfa.

TABLA NUMERO XII

Pérdidas energéticas gaseosas y urinarias en % de la Energía bruta y de la Energía digestible.

PAJA	ORINA	METANO	ORINA	METANO
	en % E. Bruta		en % E. Digestible	
Yeros	5,4	4,5	8,7	7,3
Garbanzos	4,5	4,4	7,7	7,5
Alubias	2,1	4,8	3,6	8,2
Guisantes	3,6	4,6	6,3	7,9
Veza	3,5	4,5	6,5	7,8
Habas	3,8	4,4	7,1	8,2

En la tabla núm. XII figuran las pérdidas gaseosas y urinarias de los diferentes experimentos expresadas en tantos por ciento de la energía bruta y de la energía digestible.

TABLA NUMERO XIII

Comparación de los valores de energía metabolizable calculados y los obtenidos experimentalmente.

Paja	Valor Experimental	Ecuación de Nehring	Ecuación de Axelsson
Yeros	2.239 ± 27	2.257 ± 50	2.076
Garbanzos	2.099 ± 15	2.110 ± 50	1.887
Alubias	2.087 ± 39	2.076 ± 50	1.609
Guisantes	2.027 ± 41	1.959 ± 50	1.567
Veza	1.945 ± 28	1.934 ± 50	1.803
Habas	1.710 ± 32	1.780 ± 50	1.754

V. 7. Ecuaciones de predicción de la energía metabolizable.

De las diversas fórmulas existentes para llegar al conocimiento de la energía metabolizable de una forma indirecta, nosotros hemos aplicado a nuestras pajas las de AXELSSON,⁹ y la de NEHRING,⁴⁸ y hemos comparado los resultados obtenidos con los valores hallados experimentalmente. El resultado de esta confrontación se expresa en la Tabla núm. XIII.

La fórmula propuesta por AXELSSON es como sigue:

$$Y_1 = 3,24 + 0,00140 X_1 - 0,0391 X_2$$

donde «Y₁» es igual a la energía metabolizable expresada en mcal. por kg. de sustancia seca; «X₁», representa la proteína digestible expresada en gramos por kilogramo de sustancia seca, y «X₂», es el contenido en fibra bruta en por ciento de la sustancia seca. Los resultados obtenidos con la aplicación de esta fórmula, son ligeramente inferiores a los valores experimentales, siendo de destacar que en las dos pajas que presentan un mayor contenido en fibra bruta, que son las de alubias y la de guisantes, los resultados obtenidos mediante el empleo de esta fórmula son los que más se apartan de los valores experimentales. El empleo de esta fórmula para el caso de nuestras pajas, no parece ser recomendable.

La ecuación propuesta por NEHRING,⁴⁸ para conocer la energía metabolizable de una forma indirecta mediante el conocimiento de los principios digestibles es como sigue:

$$Y_1 = 4,08 X_1 + 9,31 X_2 + 3,09 X_3 = 3,82 X_4 + 50 \text{ Kcal.}$$

donde «Y₁», es igual al contenido en energía metabolizable y los factores X₁, X₂, X₃ y X₄ representan a la proteína digestible, la grasa digestible, la fibra bruta digestible y los M. E. L. N. digestibles. Comprobamos que con el empleo de esta fórmula los valores calculados guardan una estrecha concordancia con los obtenidos experimentalmente. En vista de la gran exactitud existente entre los valores calculados y los datos obtenidos experimentalmente, hemos calculado aplicando esta ecuación la energía metabolizable de las pajas de lentejas, algarrobas y almortas, en las cuales no pudo llevarse a cabo la determinación experimental.

V. 8. Aspectos aplicativos.

En la tabla núm. XIV, se exponen los balances diarios de energía y de nitrógeno de los corderos a los que se les suministraron las seis pajas de leguminosas en que se determinó el contenido en energía metabolizable.

Los niveles de ingestión de nuestros corderos se encuentran por debajo de las necesidades de mantenimiento, siendo notablemente inferiores a las cantidades que normalmente pueden consumir los óvidos de este tipo de alimentos. Esto es debido exclusivamente a razones de tipo técnico de esta clase de experimentos. En las pruebas de digestibilidad no puede suministrarse una alimentación «ad libitum», sino que se hace preciso suministrar a los animales una cantidad de alimento que sea totalmente ingerida por todos los animales, para evitar en lo posible que dejen restos. Además hemos de tener presente que los animales se encuentran en unas condiciones en las que prácticamente no sufren ningún desgaste, y el tener colocados los arneses y estar introducidos en las jaulas metabólicas, hace que ingieran una cantidad del alimento inferior a la que consumirían normalmente.

REVUELTA,⁶⁰ cita que los óvidos pueden ingerir cantidades de hasta 1.000 gr. diarios de pajas de leguminosas, no debiendo de sobrepasarse esta cantidad.

Si consideramos que los animales reciben 1.000 gr. de paja con un contenido de humedad de 10 %, supone la ingestión de 900 gs. de sustancia seca con un contenido en energía metabolizable de 1.710 Kcal. y 35,4 gs. de proteína digestibles. (El contenido medio de las pajas de leguminosas hemos visto que es de 1.900 Kcal/Kg. y el de proteína digestible es de 3,93 como media para las nueve pajas estudiadas).

El Agricultural Research Council, señala las necesidades diarias de animales de 40 Kgs. de peso vivo para cubrir el mantenimiento en 1.590 Kcal. de energía metabolizable y en 42 gr. de proteína digestible. Del conocimiento de estas necesidades y de acuerdo con la composición de nuestras pajas, si los animales ingieren un kilogramo diario de paja de leguminosas vemos que tienen cubiertas sus necesidades de mantenimiento en energía metabolizable, pero en cambio es preciso suplementarles con cualquier concentrado proteico que nos suministre los 16,6 gr. de proteína digestible que son precisos para completar los 42 gr. necesarios para cubrir las necesidades del mantenimiento de este tipo de animales.

TABLA NUMERO XIV

Energía metabolizable de las pajas de leguminosas balance diario.

Paja de Yeros

Cordero Núm.	Alimento Kcal.	Heces Kcal.	E. Digestible Kcal.	Orina Kcal.	Metano Kcal.	E. Metabolizable Kcal.
2	2.250	849	1.401	125	102	1.174
3	2.250	812	1.438	108	104	1.226
4	2.231	866	1.365	129	100	1.136
5	2.250	846	1.404	130	104	1.170
10	2.250	828	1.422	127	102	1.193
12	2.239	835	1.404	109	101	1.194

TABLA NUMERO XIV (continuación)

Paja de garbanzos

Cordero Núm.	Alimento Kcal.	Heces Kcal.	E. Digestible Kcal.	Orina Kcal.	Metano Kcal.	E. Metaboli-zable Kcal.
9	2.161	907	1.255	103	95	1.057
11	2.159	900	1.259	96	93	1.070
12	2.151	871	1.280	101	94	1.085
13	2.164	889	1.275	87	95	1.093
14	2.153	872	1.281	101	96	1.084

Paja de alubias

Cordero Núm.	Alimento Kcal.	Heces Kcal.	E. Digestible Kcal.	Orina Kcal.	Metano Kcal.	E. Metaboli-zable Kcal.
2	2.555	1.087	1.468	50	122	1.296
3	2.571	1.123	1.448	54	121	1.273
4	2.519	995	1.524	58	121	1.345
7	2.582	1.073	1.509	55	121	1.333
10	2.503	1.115	1.388	49	118	1.221

Paja de guisantes

Cordero Núm.	Alimento Kcal.	Heces Kcal.	E. Digestible Kcal.	Orina Kcal.	Metano Kcal.	E. Metaboli-zable Kcal.
2	2.179	887	1.292	76	101	1.115
3	2.179	896	1.283	82	101	1.100
4	2.154	970	1.184	80	96	1.008
5	2.179	837	1.242	78	98	1.066
7	2.171	890	1.281	80	100	1.101
10	2.162	965	1.197	76	95	1.026

Paja de veza

Cordero Núm.	Alimento Kcal.	Heces Kcal.	E. Digestible Kcal.	Orina Kcal.	Metano Kcal.	E. Metaboli-zable Kcal.
9	2.208	1.035	1.173	84	92	997
11	2.010	960	1.050	66	83	901
13	2.203	1.025	1.178	79	90	1.009
14	2.215	999	1.216	72	94	1.050

TABLA NUMERO XIV (continuación)

Paja de habas

Cordero Núm.	Alimento Kcal.	Heces Kcal.	E. Digestible Kcal.	Orina Kcal.	Metano Kcal.	E. Metaboli-zable Kcal.
9	1.941	919	1.022	72	84	866
11	1.894	893	1.001	69	81	851
12	1.939	954	885	73	81	831
13	1.922	912	1.010	71	84	855
14	1.853	862	991	70	81	840

TABLA NUMERO XV

Balance diario de nitrógeno de las pajas de leguminosas

Paja de yeros

Cordero Núm.	N. Ingerido Gr.	N. Heces Gs.	N. Orina Gs.	Balance Gs.
2	7,87	4,02	6,97	— 3,12
3	7,87	3,66	5,51	— 1,30
4	7,80	3,64	7,08	— 2,92
5	7,87	3,53	8,13	— 3,79
10	7,87	3,57	6,75	— 2,45
12	7,83	3,50	5,00	0,67

TABLA NUMERO XVI

Paja de Garbanzos

Cordero Núm.	N. Ingerido Gs.	N. Heces Gs.	N. Orina Gs.	Balance Gs.
9	8,17	2,78	8,37	— 2,98
11	8,15	2,80	7,91	— 2,56
12	8,13	2,88	6,50	— 1,25
13	8,17	3,08	6,18	— 1,09
14	8,14	2,88	6,91	— 1,65

TABLA NUMERO XVII

Paja de alubias

Cordero Núm.	N. Ingerido Gs.	N. Heces Gs.	N. Orina Gs.	Balance Gs.
2	6,32	3,88	3,54	- 1,10
3	6,24	3,96	4,18	- 1,90
4	5,99	3,52	4,09	- 1,62
7	6,15	3,56	3,65	- 1,06
10	5,82	3,69	4,06	- 1,93

TABLA NUMERO XVIII

Paja de guisantes

Cordero Núm.	N. Ingerido Gs.	N. Heces Gs.	N. Orina Gs.	Balance Gs.
2	6,82	3,47	4,30	- 0,95
3	6,82	3,54	4,65	- 1,37
4	6,64	3,88	5,45	- 2,69
5	6,82	3,61	4,55	- 1,34
7	6,75	3,61	5,44	- 2,30
10	6,77	3,78	4,61	- 1,62

TABLA NUMERO XIX

Paja de veza

Cordero Núm.	N. Ingerido Gs.	N. Heces Gs.	N. Orina Gs.	Balance Gs.
9	6,14	3,45	4,44	- 1,75
11	5,15	3,01	4,39	- 2,25
13	6,10	3,58	3,74	- 1,23
14	6,16	3,35	3,12	- 0,51

TABLA NUMERO XX

Paja de habas

Cordero Núm.	N. Ingerido Gs.	N. Heces Gs.	N. Orina Gs.	Balance Gs.
9	5,73	3,38	4,74	- 2,39
11	5,20	3,24	3,94	- 1,98
12	5,78	3,51	3,13	- 0,86
13	5,71	3,57	3,78	- 1,64
14	5,12	3,26	2,62	- 0,76

Hemos de destacar el hecho de que la alimentación invernal que los ganaderos vienen suministrando tradicionalmente a nuestra población ovina, es bastante adecuada siempre que se suministre a los animales una cantidad de paja suficiente y que se les suplemente con cualquier grano de cereales o semillas de leguminosas. Esta alimentación es válida exclusivamente para mantener el estado del rebaño durante los duros meses del invierno, que por otra parte ofrecen muy escasas posibilidades para el pastoreo. Cuando se persiguen fines productivos elevados, el problema cambia sustancialmente, y entonces se hace preciso el suministrar alimentos más concentrados para poder subvenir a las necesidades del proceso productivo.

V. 9. Interés teórico.

En los distintos Centros que trabajan sobre los problemas del metabolismo energético se han llevado a cabo numerosas determinaciones del contenido en energía metabolizable de las diversas dietas destinadas a la alimentación animal, pero sólo en raras ocasiones estas determinaciones fueron realizadas en alimentos únicos y suministrados solos.⁶⁸ En nuestro trabajo se han estudiado nueve alimentos diferentes, constituyendo cada uno una entidad botánica definida. Los citados alimentos fueron suministrados a los animales como único componente de la dieta, todo lo cual hace aumentar notablemente el interés teórico del trabajo.

Otro aspecto que hemos de considerar, es que los alimentos estudiados por nosotros se encuentran colocados en una posición intermedia entre los henos y las pajas de cereales, siendo la primera vez que se determina experimentalmente su valor energético. Los datos obtenidos en el trabajo pueden servir para completar la lista de alimentos estudiados en otras ocasiones; siendo de importancia el hecho de tratarse de alimentos con un elevado contenido en fibra bruta y un alto grado de lignificación, encontrándose situados casi al final de la escala de alimentos que son utilizables para la alimentación del ganado.

El trabajo también pudiera tener cierto interés de tipo teórico por tratarse de alimentos que en muchos de los países que están más avanzados en los estudios de nutrición son desconocidos, ya que la mayoría de las leguminosas cuyas pajas se han estudiado son propias del área Mediterránea.

V. 10. El problema de la valoración nutritiva.

Ya hemos visto la gran complejidad que presenta la valoración nutritiva de los alimentos desde su punto de vista energético. Nosotros pensamos que para efectuar el racionamiento de los rumiantes el sistema más adecuado es el de la energía metabolizable.

Desde un punto de vista práctico, y para ciertos fines, el contenido en energía metabolizable puede calcularse de un modo muy sencillo, conociendo la digestibilidad de la energía y el contenido en proteína del alimento.¹⁷ La digestibilidad de la energía, además de servirnos para conocer las pérdidas fecales, la podemos utilizar para calcular el metano producido.¹⁶ Ya hemos visto la elevada correlación existente entre el nitrógeno de la dieta y las pérdidas energéticas de la orina. De esta forma podríamos calcular de una manera indirecta las pérdidas gaseosas y urinarias y se vería simplificado notablemente el problema de la valoración energética de un alimento.

VI. CONCLUSIONES

1. El contenido en energía bruta de las pajas de leguminosas estudiadas es de 4.200 Kcal/Kg. de sustancia seca como media, variando entre un máximo de 4.294 Kcal/Kg. en el caso de la paja de lentejas, y 4.012 Kcal. para la de habas.

2. El contenido en energía digestible de las pajas de leguminosas tiene un valor medio de 2.300 Kcal/Kg. de sustancia seca, variando entre un valor máximo de 2.662 ± 20 Kcal/Kg. para la paja de yeros y un mínimo de 2.042 ± 27 Kcal/Kg. en el caso de la paja de habas. La energía digestible representa el 56 % de la energía bruta como media, variando entre el 62,6 en la paja de yeros y el 51,9 % en la de almortas.

3. El contenido en energía metabolizable de las pajas de leguminosas tiene un valor medio de 1.970 Kcal/Kg. de sustancia seca, oscilando entre 2.239 ± 27 para la paja de yeros y 1.710 ± 32 para la de habas. La energía metabolizable representa un 84,7 % de la energía digestible, como media de las pajas estudiadas, variando entre el 88,2 % en la paja de alubias y el 81,9 % en la de almortas.

4. El contenido en lignina tiene un valor de predicción del contenido en energía digestible y metabolizable superior al de la fibra bruta, celulosa, pentosanas y sustancias de sostén totales. Solamente los M. E. L. N. digestibles y «los hidratos de carbono brutos digestibles» de PALOHIMO alcanzan un valor muy próximo al de la lignina.

5. Los resultados obtenidos experimentalmente para el contenido en energía metabolizable, guardan una gran concordancia con los hallados aplicando la ecuación de regresión propuesta por NEHRING, basada en los principios digestibles.

6. Los resultados obtenidos experimentalmente para los valores de la pérdida energética urinaria concuerdan ampliamente con los hallados aplicando la ecuación de regresión propuesta por BLAXTER, basada en el nivel de proteína de la ración.

7. Habida cuenta de la apetecibilidad de las pajas de leguminosas y su contenido en energía metabolizable, es posible cubrir con ella como alimento único las necesidades energéticas de mantenimiento del ganado ovino.

8. Tanto para establecer las necesidades energéticas de los óvidos en las condiciones de nuestro país, como para la valoración de sus alimentos, la energía metabolizable parece superior a cualquier otro de los sistemas propuestos.

VII. RESUMEN

Se han determinado experimentalmente los contenidos en energía digestible y metabolizable de las siguientes pajas de leguminosas, utilizadas ordinariamente en la alimentación del ganado ovino en nuestro país: Lentejas (*Lens scutenta*, Moench), algarrobas (*Vicia Monanthos*, L.), almortas (*Lathyrus sativus*, L.), yeros (*Ervilia sativa*), veza (*Vicia sativa*, L.), guisantes (*Pisum sativum*, L.), garbanzos (*Cicer arietinum*, L.), alubias (*Phaseolus vulgaris*, L.) y habas (*Vicia faba*, L. var. minor).

Cada prueba experimental se llevó a cabo con seis corderos machos, castrados, de la raza Churra, en jaulas metabólicas individuales, permitiendo un control riguroso del alimento consumido y una recogida cuantitativa de las heces y de la orina. Las pruebas tuvieron una duración aproximada de un mes, comprendiendo periodos preparatorios, previo y de colección de 10 días. El nivel de ingestión fue de ca. 500 grs. de sustancia seca por animal y día.

Las determinaciones de la energía se realizaron con una bomba calorimétrica adiabática JANKE & KUNKEL. En el caso de la orina previa liofilización y para las heces tras desecación a 60°C.

Se realizó un análisis de las correlaciones existentes entre los diversos tipos de energía, los principios nutritivos y las sustancias de sostén vegetal para cada alimento.

Las pajas estudiadas presentaron un contenido en energía bruta de 4.200 Kcal/Kg. de sustancia seca. No se encontró ninguna correlación entre la energía bruta y la composición química de las pajas.

El valor medio de energía digestible de las pajas de leguminosas estudiadas fue de 2.300 Kcal/Kg. de sustancia seca, variando entre 2.662 ± 20 y 2.042 ± 27 . La digestibilidad de la energía tuvo un valor medio de 56 %, con un máximo de 62,6 % y un valor mínimo de 51,9 %.

Se comprueba la elevada correlación existente entre el contenido en energía digestible y la digestibilidad de la materia orgánica (+0,924). Destaca la elevada correlación negativa (-0,790) entre el contenido en lignina y la energía digestible.

El contenido en energía metabolizable es de 1.970 Kcal/Kg., como media para las pajas estudiadas. Los valores extremos fueron 2.239 ± 27 y 1.710 ± 32 . El porcentaje medio de energía digestible que es metabolizable fue del 84,7 %, siendo el 47 % la parte de la energía bruta que es metabolizable. Las pérdidas energéticas urinarias de las pajas fueron de 160 Kcal/Kg. de sustancia seca ingerida, mientras que las pérdidas en forma de metano fueron de 193 Kcal/Kg. de sustancia seca ingerida. También se comprueba la elevada correlación entre la digestibilidad de la materia orgánica y el contenido en energía metabolizable (0,972).

La correlación entre el contenido en lignina y la energía metabolizable fue negativo y muy elevado (-0,340).

Se puso de manifiesto la gran similitud de los valores energéticos de la orina calculados mediante el empleo de la fórmula de BLAXTER, basada en el nivel de proteína de la ración y los obtenidos experimentalmente. Destaca la elevada correlación existente entre el contenido en nitrógeno de la dieta y las pérdidas energéticas urinarias (0,867).

Se pudo observar que en el caso de las pajas estudiadas, el contenido en energía metabolizable puede determinarse con gran exactitud mediante la aplicación de la ecuación de regresión propuesta por NEHRING.

VII. RESUME.

On a calculé expérimentalement les teneurs en énergie digestible et métabolisable des pailles légumineuses suivantes, utilisées ordinairement dans la nutrition du bétail ovien dans notre pays: Lentilles (*Lens esculents* Moench), caroubes (*Vicia Monanthos*, L.), Lupins (*Lathyrus sativus*, L.), ers (*Ervilia sativa*), vesce (*Vicia sativa*, L.), pois (*Pisum sativum* L.), pois chiches (*Cicer arietinum*, L.), haricots (*Phaseolus vulgaris*, L.) et fèves (*Vicia faba*, L. var. minor).

Chaque essai ou expérience s'est effectué avec six béliers émasculés, de la race «Churra» dans des cages métaboliques individuelles, permettant un contrôle sévère du fourrage consommé et un ramassage quantitatif des déjections et de l'urine. Les essais durèrent environ un mois, comprenant les périodes préparatoires, préalables et de ramassage, de 10 jours. Le niveau d'ingestion fut de ca. 500 grs. de substance sèche par animal et par jour.

Les déterminations de l'énergie furent effectués au moyen d'une pompe calorimétrique adiabatique «JANKE & KUNKEL». Dans le cas de l'urine après une préalable liophilisation, et dans le cas des déjections, après une dessiccation à 60°C.

On fit une analyse des rapports existant entre les différents types d'énergie, les principes nutritifs et les substances de soutien végétal pour chaque aliment ou fourrage.

Les pailles étudiées présentèrent une teneur en énergie brute de 4.200 Kcal/Kg. de substance sèche. On ne trouva aucun rapport entre l'énergie brute et la composition chimique des pailles.

La valeur moyenne d'énergie digestible des pailles de légumineuses étudiées fut de 2.300 Kcal/Kg. de substance sèche, variant entre 2.662 ± 20 et 2.042 ± 27 . La digestibilité de l'énergie eut une valeur moyenne de 56 %, avec un maximum de 62,6 % et un minimum de 51,9 %.

On a vérifié le rapport élevé qui existe entre la teneur en énergie digestible et la digestibilité de la substance organique (+ 0.924). L'élevé rapport négatif (-0,790) entre la teneur en lignine et l'énergie digestible est remarquable.

La teneur en énergie métabolisable est de 1.970 Kcal. /Kg. comme moyenne pour les pailles étudiées. Les valeurs extrêmes furent 2.239 ± 27 et 1.710 ± 32 . Le pourcentage moyen d'énergie digestible métabolisable fut de 84,7 %; la partie d'énergie brute métabolisable est de 47 %. Les pertes énergétiques urinaires des pailles furent de 160 Kcal/Kg. de substance sèche ingerée, alors que les pertes en forme de méthane furent de 193 Kcal./Kg. de substance ingerée. On a vérifié aussi l'élevé rapport entre la digestibilité de la substance organique et la teneur en énergie métabolisable (0,972).

Le rapport entre la teneur en lignine et l'énergie métabolisable fut négatif et très élevé (-0,840).

On a vu très clairement la grande similitude des valeurs énergétiques de l'urine, calculées en employant la formule de BLAXTER, basée sur le niveau de protéine de la ration et celles obtenues expérimentalement. Le rapport élevé qui existe entre la teneur en nitrogène de la diète et les pertes énergétiques urinaires (0,867) est remarquable.

On a pu observer que dans le cas des pailles étudiées, la teneur en énergie métabolisable peut être calculée avec une grande exactitude au moyen de l'application de l'équation de régression proposée par NEHRING.

VIII. SUMMARY

It has been determined the digestible and metabolizable energy content of the following legume straws, usually employed as feed for the sheep in our Country: lentil straw (*Lens esculenta*, Moench), one-flowered tare straw (*Vicia monanthos*, L.), chickling vetch straw (*Lathyrus sativus*, L.), lentil vetch straw (*Ervillia sativa*), vetch straw (*Vicia sativa*, L.), field pea straw (*Pisum sativum*, L.), chick pea straw (*Cicer arietinum*, L.), bean straw (*Phaseolus vulgaris*, L.), and horsebean straw (*Vicia faba*, L.), var minor).

The trials were carried out with six «Churra» breed weathers, using metabolic cages which allowed a perfect control of the feed ingested and a quantitative collection of feces and urine. The trials lasting for about one month, included the preliminary period; the collection period and a rest period of 10 days length each one. The feed level was about 500 gs. dry matter daily for each animal.

To know the gross energy an adiabatic bomb calorimeter was employed. The urine samples were freeze-dry and the feces oven-dried at 60°C.

It was carried out an analysis of the correlations existing among the various types of energy, the different nutrients and the membrane substances (cellulose, lignin and pentosans) for each legume straw.

The legume straw have a gross energy content of 4.200 Kcal/Kg. dry matter. It was not found any correlation between the gross energy content and the chemical composition of the straws.

The digestible energy content of the straws was of 2.300 Kcal/Kg. dry matter, varying from 2.662 ± 20 Kcal/Kg. dry matter to 2.042 ± 27 Kcal/Kg. The digestibility of the gross energy being 56 %, with a maximum of 62,6 % and a minimum of 51,9 %.

It was confirmed the high correlation between the digestible energy content and the digestibility of the organic matter (0,924). It is pointed out the high negative correlation (-0,790) between the lignin content and the digestible energy.

The metabolizable energy content was 1.970 Kcal/Kg. dry matter, as a mean for the straws studied, varying from 2.239 ± 27 to 1.710 ± 32 Kcal/Kg. The metabolizability of the digestible energy being 84,7 %, and 47 % for the gross energy. The energy excreted in the urine was of 160 Kcal/Kg. dry matter ingested, whilst the energy losses of methane, were 193 Kcal/Kg. dry matter. It is verified the high correlation between the digestibility of the organic matter and the metabolizable energy content (0,972).

The correlation between lignin content and metabolizable energy was negative (-0,840).

It is showed the great concordance of the urine energy, both calculated using the equation proposed by BLAXTER, in which the heat of combustion of the urine is related to the crude protein content of the diet, and the values experimentally obtained. It was found a high correlation between the nitrogen content of the diet and the urine energy (0,867).

It is pointed out that for the legume straws studied the metabolizable energy content may be predicted with the use of the equation proposed by NEHRING.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi sincero agradecimiento al Prof. Dr. E. Zorita, quien sugirió el tema y con tanto afecto puso a mi disposición su valiosa dirección y experiencia, así como los medios materiales para la realización de este trabajo.

Quiero expresar mi agradecimiento asimismo a la Srta. Carpintero Gigoso, Doctor en Ciencias Químicas, por su valiosa colaboración en el montaje y realización de las diversas técnicas de análisis químicos.

Agradezco a Laboratorios Syva S. L., y de una forma muy especial a los Veterinarios Sres. Ordás y Garrido, su desinteresada colaboración llevando a cabo la liofilización de las muestras de orina.

A la Srta. Aurora Campelo, que mecanografió el manuscrito original, quiero agradecerle la eficacia y desinterés que siempre pone en su trabajo.

IX. BIBLIOGRAFIA

- 1) «Anuario Estadístico de la Producción Agrícola». — Campaña 1963-64. — Ministerio de Agricultura. Madrid.
- 2) ARMSBY, H. P. 1917. — «The Nutrition of Farm Animals». Macmillan Co. N. Y.
- 3) ARMSBY, H. P. y FRIES, J. A. 1903. — U. S. DEP. Agric. Bur. Animal Industry Bul. 51.
- 4) ARMSBY, H. P. y FRIES, J. A. 1916. — Pa. Agric. Exp. Sta. Bul. 142.
- 5) ARMSBY, H. P. y FRIES, J. A. 1918. — J. Agric. Research., 3: 269.
- 6) ARMSTRONG, D. G., BLAXTER, K. L. and WAITE, R. 1964. — J. Agri. Sci. 62:417.
- 7) A. O. A. ch. — «Official Methods of Analysis». 1965. ed. 10 Washington.
- 8) AXELSSON, J. 1949. — Ann. Roy. Agr. Coll. Sweden, 16: 405-19.
- 9) AXELSSON, J. 1954. — 100 Jahre Möckern. «Die Bewertung der Futterstoffe und andere Probleme der Tierernährung». Band II, 71. Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften. Berlin.
- 10) AXELSSON, J. y ERIKSSON, S. 1953. — Kungl. Landbrukshögsk. Ann. 20: 51-70 (ref. Eriksson, S. 1958. Proc. 1st Symposium on energy metabolism. E. A. A. P., 8, 203).
- 11) BAERE, R., PAQUAY, R. y LOUSE, A. 1966. — Annales de Médecine Vétérinaire, 11: 81-94.
- 12) BECKER, M. 1961. — «Análisis y valoración de piensos y forrajes». Editorial Acribia. Zaragoza.
- 13) BENEDICT, F. G. y LEE, R. C. 1937. — Carnegie Inst. Washington, Publ. No. 489. (ref. Blaxter, K. L. 1962. «The energy metabolism of ruminants». Londres).
- 14) BENZINGER, T. y KITZINGER, C. 1949. Rev. Sci. Instruments., 20: 849.
- 15) BLAXTER, K. L. 1962. — «The energy metabolism of ruminants». Hutchinson. Londres.
- 16) BLAXTER, K. L., CLAPPERTON, J. L. 1965. — Br. J. Nutr. 19: 511.
- 17) BLAXTER, K. L., CLAPPERTON, J. L. y MARTIN, A. K. 1966. Br. J. Nutr., 20: 449.
- 18) BLAXTER, K. L. 1956. — J. Dairy Sci., 39, 10: 1396.
- 19) BRATLER, J. W., y FORBES, E. B. 1940. — J. Nutr., 19: 611.
- 20) BRATLER, J. W. y SWIFT, R. W. 1959. — J. Dairy Sci., 42, 4: 686.
- 21) BROUWER, E., VAN ES, A. J. H. y NIJKAMP, H. J. 1961. — Proc. 2nd. Symposium on Energy Metabolism. E. A. A. P., No. 10: 153.
- 22) BROUWER, E. 1965. — Proc. 3rd. Symposium on Energy Metabolism. E. A. A. P., No. 11: 441.
- 23) CAPSTICK, J. W. 1962. — «Ein Calorimeter für das Arbeiten mit grossen Tieren». Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden. Urban y Schwarzenberg. Berlin.
- 24) Censo de la Ganadería española. 1963. — Ministerio de Agricultura. Secretaría General Técnica. Servicio de Estadística.
- 25) CLANTON, D. C. 1961. — J. Anim. Sci., 20: 640.
- 26) COLOVOS, N. F., KEENER, H. A. y DAVIS, H. A. 1957. J. Dairy Sci., 40: 173.
- 27) DE VUYST, A. y VANBELLE, N. 1964. — Zootechnia, XIII, 4: 99.
- 28) DE VUYST, A. y VANBELLE, N. 1965. — Zootechnia, XIV, 1: 3.
- 29) DURNIN, J. V. G. A. 1965. — Proc. 3rd. Symposium on Energy Metabolism. E. A. A. P., No. 11: 156.
- 30) ERIKSSON, S. 1950. Ann. Royal Agric. Coll. Sweden, 17: 396.
- 31) El censo ovino mundial, 1966. — Balance, 299: 30.
- 32) FLATT, W. P. 1957. — J. Dairy Sci., 40: 612.
- 33) FOX, H. C., MILLER, D. S. y PAINE, P. R. 1959. — Proc. Nutr. Soc. 18: IX.
- 34) FRAPS, G. S. 1916. — Texas Agr. Exp. Sta. Bul. 185.
- 35) FRAPS, G. S. 1925. — Texas Agr. Exp. Sta. Bul., 329.
- 36) FRAPS, G. S. 1931. — Texas Agr. Exp. Sta. Bull. 436.
- 37) HAMMILTON, T. S., MITCHEL, H. H. y KAMMLADE, W. G. 1928. Illinois Agri. Exp. Sta. Bul. 303.
- 38) HILLS, J. L. 1900. Vt. Agr. Exp. Sta. Bul. 81.
- 39) HILLS, J. L., JONES, C. H. y BENEDICT, P. A. 1910. Vt. Agr. Exp. Sta. Bul., 152.
- 40) «Informe del Banco Mundial de Reconstrucción y Fomento. 1962. — El desarrollo Económico de España». Oficina de coordinación y programación económica. Madrid.
- 41) KELLNER, O. y HOHLER, A. 1900. Landw. Versuchs. Stationen. 53: 1.
- 42) KING, W. A., LEE, J. WENB, H. J. y RODERIC, D. B. 1961. — J. Dairy Sci., 43: 388.
- 43) LANCASTER, R. J. 1943. — N. Z. J. Sci. Tech., 25 A: 137.
- 44) LEITCH, I. 1958. — «Scientific principles of feeding farm livestock». Farmer And Stock Breeder Publications Ltd.

- 45) LEFEVRE, J. y TISSOT, P. 1964.— Nutrition animale. Vol. II. J. B. Bailliere et fils. Paris.
- 46) MARTIN, A. K. y BLAXTER, K. L. 1961.— Proc. 2nd. Symposium on Energy metabolism. E. A. A. P. No. 10: 200.
- 47) MAYNARD, L. A. y LOOSLI, J. K. 1962.— «Animal Nutrition». 5th edition. McGraw-Hill Book Company Inc. N. Y.
- 48) NEHRING, K. SCHIEMANN, L. y JENTSCH, W. 1963. *Arch. f. Tier.* 13: 3.
- 49) NEHRING, K. SCHIEMANN, R. y JENTSCH, W. 1963.— *Arch. f. Tier.* 13: 193.
- 50) NEHRING, K., SCHIEMANN, R., HOFFMANN, L. KLIPPEL, W. y JENTSCHEN, W. 1965. Proc. 3rd. Symposium on Energy Metabolism. E. A. A. P., No. 11: 248.
- 51) NIJKAMP, H. J. 1965.— Proc. 3rd. Symposium on Energy Metabolism. E. A. A. P. No. 11: 148.
- 52) NIJKAMP, H. J. 1961.— *Anal. Chim. Acta.* 24: 529.
- 53) PALADINES, D. L., REID, J. T., VAN NIEKERK, B. D. H. y BENSADOUN, A. 1964.— *J. Ani. Sci.*, 23: 528.
- 54) PALOHEIMO, L. 1962.— *Nordisk Gordbrugsforking.* 2, 44: 78.
- 55) PHILLIPS, M. y LOUGHLIN, T. G. 1949.— *J. Agric. Res.*, 78: 389.
- 56) PHILLIPSON, A. T. 1958.— «Scientific Principles of Feeding farm Livestock». Farmer and Stock Breeder Publications. Ltd..
- 57) «Proyecto de desarrollo de la Región Mediterránea». 1959.— F. A. O. Roma.
- 58) PULLAR, J. D. 1958. Proc. 1st Symposium on Energy Metabolism E. A. A. P., No 7: 95.
- 59) Research Techniques in use at the Grassland Research Institute, Hurley, *Bul.* 45. 1961.— Commonwealth Agricultural Bureau.
- 60) REVUELTA, L. 1953.— «Bromatología Zootécnica y Alimentación Animal». Salvat Editores Madrid.
- 61) RITZMAN, E. G. y BENEDICT, F. G. 1938. *Publ. Caneg. Ins.* No. 494.
- 62) ROBINSON, D. W., COLE, D., CLARKE, M. H. y BAYLEY, H. S. 1964.— *Proc. Nutr. Soc.*, 23, 37.
- 63) RUBNER, M. 1902.— «Die Gesetze des energie verbraucht bei die Ernährung». Berlin.
- 64) SCHNEIDER, B. H. 1947.— «Feeds of the world. Their digestibility and composition». Agricultural Experiment Station. West Virginia University.
- 65) SCHNEIDER, W. 1965.— Proc. 3rd. Symposium on Energy Metabolism. E. A. A. P. No 11: 165.
- 66) SWIFT, R. W. y FISHER, K. H. 1964.— «Nutrition. A comprehensive treatise». Edt. by Beaton C. N. y McHenry, E. W. Academic Press, N. Y.
- 67) SWIFT, R. W., BRATZLER, J. W. JAMES, W. H., TILLMAN, A. D. y MEEK, D. C. 1948. *J. Ani. Sci.*, 7: 465.
- 68) «The nutrient requirements of farm Liverstock» No 2 Ruminants 1965.— Agricultural Research Council. Londres.
- 69) THOMAS, B. y ARMSTRONG, D. G. 1950.— *Agriculture*, 57: 210.
- 70) VAN ES, A. J. H. 1961.— «Between-animal variation in the ammount of energy requiered for the maintenance of cows». Thesis. Wageningen.
- 71) WALKER, D. M. y HEPBURN, W. R. 1955.— *J. Agri. Sci.* 45, 44: 299.
- 72) WAYNE, C. y COOK, L. A. 1952.— *J. Ani. Sci.*, 11: 578.
- 73) WOLL, F. W. y HUMPHREY, G. C. 1910.— *Wisc. Agr. Exp. Sta. Res. Bul.* 13.
- 74) WOOD, T. B. 1921.— «Rations for Livestock». 1st edition. Ministry Agr. and Fisheries. bul. 48.
- 75) WOODMAN, H. E. 1948.— «Rations for Livestock». 11th edition. Ministry of Agr. and Fisheries. Bul. 48.
- 76) ZUNTZ, N. y SCHUMBERG, H. 1931.— *J. Physiol.*, 72: 349.