

APROVECHAMIENTO DE SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES EN LA ALIMENTACIÓN DE RUMIANTES

Dr. Aguilera, J. F*. 1989. Conferencia. Rev. Arg. de Prod. Anim., Bs. As., 9(4):253-267.

*Depto. de Fisiología Animal, Est. Experimental del Zaidín (CSIC), Granada, España.

Conferencia pronunciada en el 14º Congreso Argentino de Prod. Animal, Mendoza.

www.produccion-animal.com.ar

Volver a: [Manejo del alimento](#)

RESUMEN

La producción excedentaria que en el sector ganadero caracteriza a los países desarrollados incentiva la disminución de los costos de producción, ante la cual el empleo de subproductos agroindustriales ofrece las mejores perspectivas, especialmente si en ciertos casos se potencia su valor nutritivo para conseguir mayores niveles de producción. Cabe distinguir dos categorías de subproductos agroindustriales: recursos ricos en nitrógeno y recursos energéticos, éstos últimos divididos en cuatro grupos según la naturaleza y presencia relativa de sus carbohidratos y su contenido en nitrógeno. Un quinto grupo estaría formado por recursos de naturaleza lipídica. Recursos ricos en nitrógeno: La naturaleza química de la fracción nitrogenada condiciona su aplicación. El uso de nitrógeno no proteico (NNP) queda restringido a rumiantes. Su hidrólisis debe conducir a la formación de NH_3 . La velocidad de formación de éste ha de considerarse en relación con la de degradación energética del sustrato, al objeto de sincronizar ambos procesos y obtener la máxima eficiencia tanto en términos de ATP formado como de su utilización. Recursos energéticos: 1- Subproductos ricos en lignocelulosa y de bajo contenido en nitrógeno. Su digestibilidad es baja y requieren con frecuencia un tratamiento que potencie su valor nutritivo. El costo energético del tratamiento debe ser inferior al aumento que experimente el contenido en energía metabolizable (EM) del producto tras ser sometido a él. 2- Subproductos ricos en lignocelulosa y en nitrógeno. Este grupo está representado fundamentalmente por las excretas de animales. Su utilización en la alimentación de rumiantes debe ir precedida de un tratamiento que elimine o reduzca el riesgo de patogenicidad. 3- Subproductos agroindustriales de bajo contenido en fibra, ricos en nitrógeno. Su utilización en rumiantes no presenta ningún problema. Pueden alcanzar proporciones elevadas como componentes de dietas equilibradas. 4- Subproductos de bajo contenido en fibra y en nitrógeno. Su digestibilidad es muy elevada. Las melazas y las pulpas de cítricos son los productos más representativos. 5- Recursos de naturaleza lipídica. Su empleo en dietas para rumiantes resulta problemático, por cuanto que la presencia en la dieta de grasa, particularmente si es insaturada, a niveles superiores al 5 % inhibe la actividad de la microflora celulolítica. El rumiante posee una buena capacidad de digestión de la grasa y en este sentido la obtención de grasa by pass ofrece un gran interés.

Palabras clave: subproductos, alimentación, rumiantes.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años los países desarrollados se vienen enfrentando a una producción excedentaria de ciertos productos primarios y secundarios del sector agrícola, con un costo económico extraordinariamente elevado. Bajo estas circunstancias parece necesario reorientar la producción animal concediendo mayor énfasis, en términos relativos, a la disminución de los costos de producción que a la propia producción. En otras palabras, producir máscede prioridad a producir más barato y en este contexto el uso de ciertos subproductos agroindustriales puede ser importante como factor clave para reducir los costos de la alimentación. Por tanto, el uso de estos recursos en producción animal requiere inexcusablemente su compatibilidad económica. Como señala Raymond (1980), debe rechazarse la idea de la existencia de una especie de imperativo moral que mueve a la utilización de recursos marginales, con independencia de la pertinencia económica de su empleo, por cuanto que ello podría implicar la infrautilización de algún otro recurso en el sistema global de producción. La situación es dinámica y los programas de investigación y desarrollo pueden transformar recursos inútiles en fuentes valiosas de nutrientes. Tampoco es estático el medio económico; muy al contrario, se producen alteraciones en los precios relativos de las materias primas, que convierten a un recurso rechazable en interesante. Al empleo de estos recursos en alimentación animal ha contribuido, así mismo, la disposición generalizada hacia el uso de raciones de composición compleja, hoy posible gracias a los avances experimentados en tecnología y a la difusión de sistemas de evaluación energética y proteica de gran solidez científica.

Ahora bien, para que ciertos subproductos alcancen relevancia como fuentes de nutrientes es necesario potenciar su valor nutritivo, a fin de que su uso no quede limitado a raciones de baja producción. Ello exige llevar a

cabo importantes esfuerzos de investigación, lo cual no es fácil, por cuanto que las peculiares características de producción, disponibilidad y composición desincentivan la financiación de los necesarios programas de investigación. En efecto, numerosos subproductos se originan en pequeñas cantidades, en áreas muy dispersas. Su disponibilidad es generalmente estacional y su naturaleza química y estructura fisicoquímica varían, aún para un mismo subproducto, en función de factores así mismo heterogéneos. Se comprende de este modo la falta de incentivos de entidades y organizaciones implicadas y aún de la propia Administración para atender a aquella financiación.

Los subproductos agroindustriales proceden del tratamiento industrial de productos agrícolas tales como semillas de oleaginosas, cítricos, caña de azúcar, granos de cereales, aceitunas, etc., o bien de las industrias cárnica y pesquera. Su localización geográfica preferente se asocia a las áreas industriales específicas. Su composición, extraordinariamente variada, condiciona su uso potencial como componentes de raciones para el ganado y los clasifica en dos categorías fundamentales (Cuadro 1): -Recursos utilizables por su capacidad para proporcionar nitrógeno; y -Recursos energéticos. Estos se clasifican en cuatro grupos, atendiendo a la naturaleza y presencia relativa de sus carbohidratos y a su contenido en N. Un quinto grupo está formado por recursos de naturaleza fundamentalmente lipídica.

CUADRO 1: Clasificación de los subproductos agroindustriales según su composición nutritiva.

◆ Recursos ricos en nitrógeno
◆ Recursos energéticos:
▪ Grupo 1: Subproductos ricos en carbohidratos estructurales y de bajo contenido en nitrógeno.
▪ Grupo 2: Subproductos ricos en carbohidratos estructurales y en nitrógeno.
▪ Grupo 3: Subproductos de bajo contenido en carbohidratos estructurales y en nitrógeno.
▪ Grupo 4: Subproductos de bajo contenido en carbohidratos estructurales y ricos en nitrógeno.
▪ Grupo 5: Subproductos ricos en lípidos.

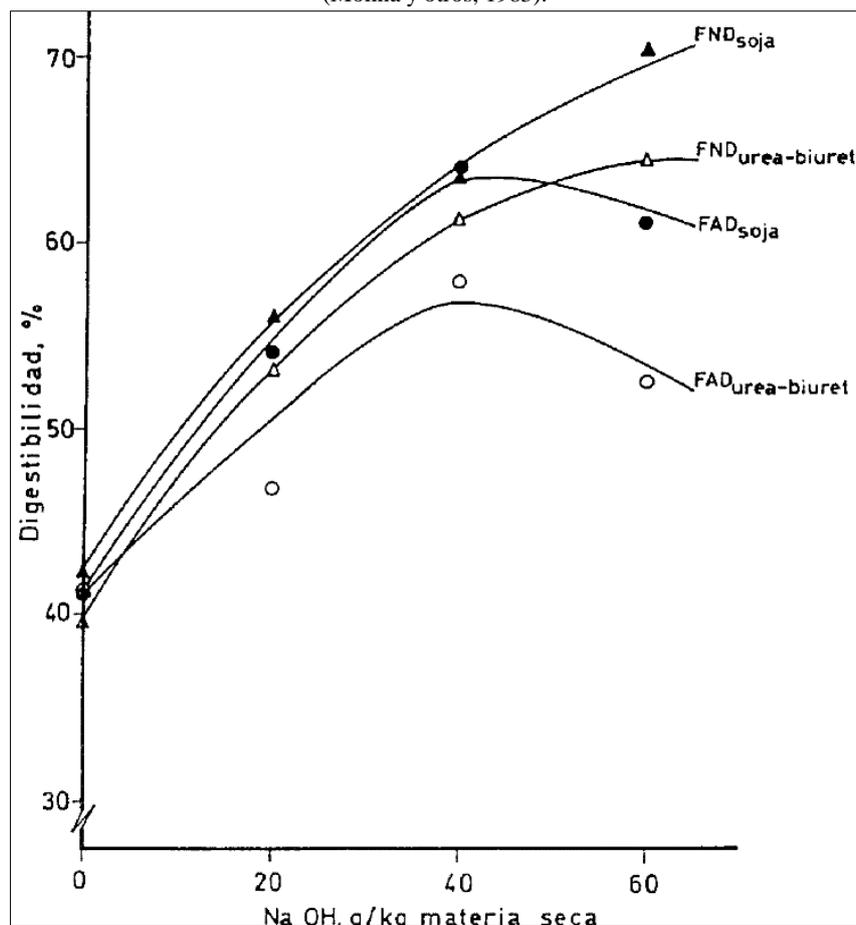
RECURSOS NITROGENADOS

En lo que se refiere a los recursos que proporcionan nitrógeno es fundamental determinar la naturaleza química de la fracción nitrogenada, es decir, si se trata de nitrógeno no proteico (NNP) o de proteína, lo cual se lleva a cabo fácilmente mediante la aplicación de técnicas analíticas convencionales. Si se trata de NNP su uso queda restringido a los rumiantes y su utilización potencial vendrá condicionada en la medida en que su hidrólisis conduzca a la formación de NH_3 . La velocidad de formación de NH_3 en el rumen será un factor a considerar en relación con la disponibilidad energética de la microflora ruminal, al objeto de sincronizar ambos procesos y obtener la máxima eficiencia en la degradación del sustrato energético, entendida dicha eficiencia tanto en términos de ATP formado como en términos de su utilización. El empleo de técnicas isotópicas ha permitido observar que en el rumen un 50-70 % del nitrógeno bacteriano y un 31-55v% del N de protozoos deriva de NH_3 .

Esto quiere decir que la síntesis de proteína microbiana, a partir de aminoácidos preformados tiene en términos cuantitativos una gran importancia. Sin embargo, no es posible actualmente cuantificar en qué grado la presencia de aminoácidos es necesaria para mantener una síntesis de proteína microbiana eficiente. Se han observado deficiencias en el suministro a los microorganismos ruminales de valina, leucina, isoleucina, fenilalanina y triptófano con dietas con niveles bajos de proteína y una alta proporción de NNP (Thomas, 1973). Otros ensayos han demostrado que la composición aminoacídica de la proteína dietética afecta a la síntesis microbiana ruminal (Hume, 1970).

Dado que existe una estrecha relación positiva entre crecimiento microbiano y actividad fermentativa ruminal parece conveniente mencionar aquí los resultados obtenidos en un ensayo de nuestro laboratorio (Figura 1) en el que, entre otros objetivos, comparamos dos fuentes nitrogenadas, una consistente en una mezcla de urea-biuret y la otra en torta de soja, como único suplemento de N de una dieta constituida por bagazo de caña de azúcar, adicionado de melazas y una mezcla minero-vitamínica (Molina y otros, 1983). Se ensayaron dos niveles de contenido de nitrógeno dietético (1,65 y 2,10 %), de modo tal que éste no constituyese en factor limitante de la actividad microbiana. La gráfica recoge los resultados de digestibilidad de la fracción de paredes celulares (FND) y lignocelulosa (FAD) del bagazo de caña tratados con 0, 20, 40 ó 60 g de NaOH/kg. Son datos medios por cuanto que no se apreciaron diferencias imputables al nivel de N en la dieta. La gráfica muestra una mayor actividad degradativa de la flora celulolítica ruminal cuando la fuente nitrogenada fue torta de soja. Las diferencias pueden interpretarse a la luz de las observaciones de Thomas, es decir, del aporte dietético de aminoácidos a la microflora ruminal, cuando la torta de soja constituye el suplemento proteico de la ración y también en base a una mejor adecuación de las velocidades de formación de NH_3 y de degradación del bagazo de caña.

FIGURA 1: Efecto del tratamiento alcalino y de la naturaleza de la fuente nitrogenada suplementaria sobre la digestibilidad de las paredes celulares (FND) y de la fracción lignocelulósica (FAD) de bagazo de caña de azúcar (Molina y otros, 1983).



Para que la síntesis de proteína microbiana sea eficiente es necesario un suministro adecuado de N. Ensayos In vitro e in vivo han demostrado que aquella se consigue cuando la concentración de N amoniacal en el medio ruminal alcanza el valor de 5 mg/100 ml (Satter y Slyter, 1974; Okone y otros, 1977), aunque se han obtenido bajas eficiencias con niveles de NH_3 superiores. Una alta eficiencia en la síntesis de proteína microbiana quiere decir que el suministro de N por degradación de la proteína de la dieta más la urea endógena ha de conducir a la formación de 30 g de N microbiano por kg de materia orgánica fermentada en el rumen, lo que equivale a 19,3 g de N microbiano o 184 g de masa microbiana por kg de materia orgánica digerida. En términos energéticos supondría 1,25 g de N microbiano/MJ EM ó 160 KJ/MJ de sustrato digerido ($184 \times 0,87 \times 19/19 = 160$ KJ/MJ). Aceptando una formación media de 1,75 moles de ATP/100 g de MO fermentada y una riqueza de la masa microbiana en N total de 10,5 % de su peso seco estas cifras equivalen a 10,5 g de masa microbiana/mol de ATP ($19,3/(17,5 \times 0,105) = 10,5$ g).

Un método para calcular la cantidad de NNP que debe utilizarse con una dieta en particular consiste en monitorizar las concentraciones de NH_3 en el rumen subsiguientes a incrementos adicionales en la suplementación de NNP y determinar el punto en que la concentración de NH_3 aumenta, porque esta acumulación significa que se ha alcanzado el punto de máxima producción de proteína microbiana con esta dieta en particular.

Si la fracción nitrogenada del subproducto tiene carácter proteico podrá ser utilizado tanto en la alimentación de monogástricos como en la de rumiantes. En el primer caso el perfil aminoácido y su disponibilidad biológica requieren una singular atención, así como la complementación con otras fuentes proteicas o los efectos de tratamientos tecnológicos para la eliminación de factores antinutricionales. En el segundo, es decir, si su utilización va a dirigirse hacia el animal rumiante, parámetros muy importantes a determinar serán el ritmo fraccional o velocidad de degradación y la magnitud en que el producto es degradado en el rumen, lo que actualmente puede realizarse con técnicas no complejas, como por ejemplo la incubación en bolsas de nylon en el rumen de corderos (Mehrez y Orskov, 1977; Orskov y McDonald, 1979). La cuantificación de la proteína degradada se ha llevado a cabo normalmente en animales dotados de cánulas simples o reentrantes en abomaso o duodeno y requiere la separación de la proteína microbiana de la de origen endógeno o dietético. Es evidente que esta técnica sólo puede aplicarse en pequeña escala y, afortunadamente, puede ser sustituida por la ya mencionada de Mehrez y Orskov (1977). Es conveniente indicar que la degradabilidad de la proteína debe ser determinada empleando dietas de composición similar a aquellas a las que van a ser aplicados los datos de degradabilidad. Se ha demostrado que los

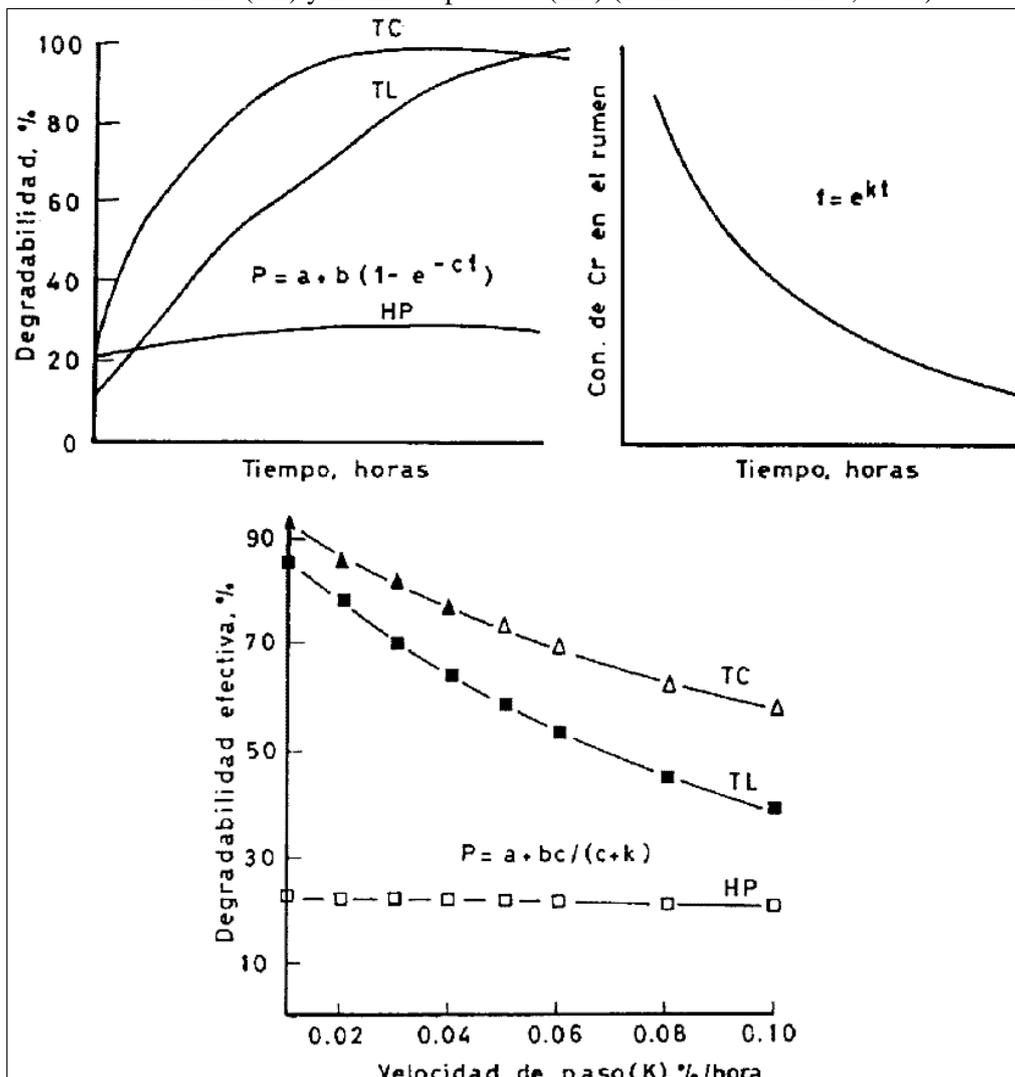
recursos proteicos de origen vegetal se degradan más lentamente en el rumen de animales que consumen una dieta rica en concentrados en comparación con dietas ricas en forrajes (Ganev y otros, 1979).

Junto a la amplitud de la degradación de la proteína interesa conocer la composición cualitativa de la fracción no degradada. Existen razones para ello: Así como en el animal en producción moderada la proteína microbiana ruminal puede cubrir sus necesidades aminoácidas para mantenimiento y producción, el rumiante en alta producción requiere un aporte suplementario de aminoácidos que ha de ser suministrado por la fracción proteica de origen dietético no degradada. Parece ser que las proteínas no degradadas ricas en aminoácidos azufrados forman la mejor combinación con la proteína microbiana (Nimrick y otros, 1970). Más aún, dado que los niveles de glucosa que alcanzan el intestino del rumiante son bajos, la síntesis de ésta puede realizarse a partir de estos aminoácidos no fermentados. Esta vía gluconeogénica contribuye a explicar los incrementos en producción que se observan al suplementar con proteínas by-pass por ejemplo, harina de pescado, dietas que dan origen a aportes energéticos limitantes. Esta situación puede observarse especialmente en animales en lactación.

La Figura 2, tomada de Orskov (1985), muestra la degradabilidad potencial de tres concentrados proteicos, harina de pescado, harina de cacahuete y torta de lino. En el primero la llamada fracción soluble es importante; no así la fracción degradable. Por tanto, su degradabilidad potencial es baja. Con el segundo sucede la situación contraria, en tanto que la torta de lino ocupa una posición intermedia. Estos subproductos agroindustriales ricos en proteína contienen una alta proporción de partículas de pequeño tamaño, que escapan fácilmente del rumen. Su degradabilidad efectiva viene afectada por el ritmo fraccional o velocidad de salida del rumen de estas partículas pequeñas, la cual se determina mordantando el subproducto con cromo.

La degradabilidad efectiva en el caso de la harina de pescado apenas alcanza al 30 % en tanto que se acerca al 70 y 90 %, respectivamente, con la torta de lino y harina de cacahuete. Finalmente parece lógico señalar que los concentrados proteicos de alto valor biológico y muy degradables deben dirigirse preferentemente a la alimentación de monogástricos, reservando a las proteínas menos degradables, cual es el caso de la harina de pescado, una importante utilización en la alimentación de rumiantes.

FIGURA 2: Degradabilidad y degradabilidad efectiva en el rumen de torta de cacahuete (TC), torta de lino (TL) y harina de pescado (HP) (Tomado de Orskov, 1985).



RECURSOS ENERGÉTICOS

El primer grupo corresponde a subproductos ricos en lignocelulosa y de bajo contenido en nitrógeno. A este grupo pertenecen recursos tales como bagazo de caña de azúcar, orujos y pulpas de aceitunas, orujos de uva, pulpas de café, etc. Su uso se dirige a la alimentación de rumiantes y su digestibilidad es baja.

Anteriormente se sugería la conveniencia de potenciar el valor nutritivo de ciertos recursos lignocelulósicos. Un número de tratamientos se ha ideado a tal fin. Es necesario señalar que el costo energético del tratamiento debe ser inferior al aumento que experimente el valor energético del producto sometido a aquel. A título de ejemplo se hace referencia al tratamiento con NaOH y se utilizan los datos del ensayo realizado en nuestro laboratorio con bagazo de caña de azúcar (Molina y otros, 1983).

El tratamiento con NaOH al 2, 4 ó 6 % sobre materia seca eleva el contenido en materia orgánica digestible del bagazo (Cuadro 2). En términos energéticos se consiguen aumentos de hasta 2,63 MJ de EM/kg de subproducto seco. El costo energético de la producción del álcali varía entre límites muy estrechos y un valor representativo es el de 51 MJ/kg, por lo que el tratamiento con 20, 40 ó 60 g de NaOH por kg de subproducto implica la adición de 1 a 3 MJ de energía. El balance energético se obtiene por diferencia entre el incremento que experimente el bagazo en energía metabolizable subsiguiente al tratamiento y la energía añadida con el álcali. En base a estos datos es patente que no es rentable energéticamente un tratamiento que incorpore cantidades de NaOH superiores a 40 g/kg de materia seca de subproductos. Sólo una puntualización: Si el producto no tratado no encuentra ningún uso y, por ejemplo, se quema, con lo que toda su energía se pierde, entonces al hacer el balance energético habría que cargar en el haber del tratamiento la energía del producto original. Este nuevo balance aplicado al caso del bagazo de caña de azúcar tratado con 20 g de NaOH/kg sería de 6,81-1,02 = +5,79 MJ.

Cuadro 2.- Balance energético del tratamiento con hidróxido sódico de bagazo de caña de azúcar.

	Nivel de incorporación de NaOH (g/kg materia seca)			
	0	20	40	60
MOD, g/kg MS	321	437	490	475
EM, MJ/kg MS	5,00	6,81	7,63	7,40
Incremento de EM, MJ/kg MS	--	1,81	2,63	2,40
Energía en el álcali incorporado, MJ/kg MS*	--	1,02	2,04	3,06
Balance energético, MJ/kg MS	--	+0,79	+0,59	-0,66

*Costo energético de producción de NaOH: 51 MJ/kg.

Los parámetros nutricionales más importantes a evaluar con los recursos lignocelulósicos son la ingesta de energía metabolizable y la cantidad de proteína microbiana sintetizada. El objetivo consiste en maximizar ambos parámetros. El tema merece una explicación detallada (Cuadro 3).

CUADRO 3: ingesta, retención y eficiencia de utilización de la energía (Ecuaciones y ejemplo)

(1) $R = K_f (q_1 - I - F/K_m)$							
(2) $E = \frac{R}{I} = q_1 \cdot K_f - \frac{K_f}{K_m} \cdot \frac{F}{I}$							
(3) $q_1 = q_m + (L - 1) \cdot 0,20 (q_m - 0,623)$							
(4) $K_m = 0,546 + 0,30 q_m$							
(5) $K_f = 0,006 + 0,78 q_m$							
(6) $I' = 910 q_m - 740 q_m^2 - 194$							
Valor de la función para valores determinados de q_m							
	K_m	K_f	$I'(^{**})$	q_1	$I \times q_1 (^{**})$	$R (^{**})$	E
$q_m = 0,45$	0,681	0,357	66	0,441	535	38	0,03
$q_m = 0,50$	0,696	0,396	76	0,484	677	101	0,07
$\Delta, \%$	2,2	10,9	15,2	--	26,5	165,7	133,3
(*) g materia seca/kg ^{0,73} y día.							
(**) KJ/kg ^{0,73} y día; F= 292 KJ/kg ^{0,73} y día.							

La cantidad de energía retenida en el organismo del animal rumiante que consume una determinada dieta viene dada por la ecuación (1), en la que R es la retención energética; I la ingesta de energía bruta; F el metabolismo en ayuno, parámetros todos expresados en $\text{KJ/kg}^{0,75}$ y día; q_1 es la energía metabolizable expresada como fracción de la energía bruta del alimento, lo que llamaremos coeficiente de metabolibilidad, y K_f y K_m , las eficiencias de utilización de la energía para la producción y el mantenimiento, respectivamente. La eficiencia bruta de utilización del alimento viene definida por la ecuación (2), obtenida dividiendo por la ingesta de energía (1) ambos miembros de la ecuación anterior. Esta ecuación indica que la eficiencia bruta de utilización del alimento no puede exceder el producto de su coeficiente de metabolibilidad por la eficiencia de utilización de la energía metabolizable para la producción. Depende además de los cocientes K_f/K_m y $F/1$, al que Kleiber denominó el inverso del nivel relativo de alimentación. Bajo condiciones específicas K_f/K_m es constante, por lo que los determinantes de la eficiencia de utilización del alimento son la metabolibilidad, la eficiencia de utilización de la energía metabolizable para la producción y el inverso del nivel relativo de alimentación. En la ecuación (2) la eficiencia bruta se aproxima a su valor límite máximo conforme se eleva la ingesta. Así mismo, en la ecuación (1) R aumentará a medida que lo hace el nivel de ingesta. Sin embargo, q_1 , K_f , K_m no son parámetros independientes entre sí. El primero de ellos, el coeficiente de metabolibilidad afecta de modo importante a los otros tres, y a su vez viene modificado por el nivel de ingesta. Es lo que indican las ecuaciones (3), (4), (5) y (6).

La ecuación (3) muestra el efecto del nivel de ingesta, expresado como múltiplos del mantenimiento (L), sobre la metabolibilidad de la ración. Esta ecuación (3) nos indica que se producirá un descenso en el contenido en energía metabolizable de la ración al aumentar el plano de ingesta con aquellas raciones cuyo coeficiente de metabolibilidad sea inferior al 60 %. Las ecuaciones (4) y (5) relacionan, respectivamente, K_m y K_f con q_m . Finalmente la ecuación (6) relaciona el coeficiente de metabolibilidad con la ingesta voluntaria (I'). Con la ayuda de estas ecuaciones puede calcularse que ocurre con la retención energética del animal rumiante alimentado ad libitum con una ración cuyo coeficiente de metabolibilidad se eleve del 45 al 50 %, por ejemplo, como consecuencia de un tratamiento tecnológico. Este aumento conducirá a incrementos en el valor de K_m y de K_f del 2 y 11 %, respectivamente, e incrementará la energía metabolizable ingerida en un 27 %. Este aumento en la energía metabolizable ingerida multiplica por 2,7 la retención energética, con lo que la eficiencia bruta aumenta en un 133 %.

La ingesta es, por tanto, muy sensible a los cambios en la calidad de la dieta y en el caso de los subproductos lignocelulósicos su bajo valor representa el principal factor limitante de la productividad animal.

Son cuatro los factores que afectan a la ingesta de estos recursos: Amplitud de la degradación microbiana, esto es, digestibilidad; ritmo o velocidad de degradación; velocidad de reducción de tamaño de partículas y volumen del rumen.

La digestibilidad, por su influencia sobre los restantes parámetros que determinan el valor nutritivo de los alimentos, constituye el dato de partida en la valoración de la capacidad nutritiva de cualquier recurso lignocelulósico y ello justifica los esfuerzos que se vienen realizando tanto en su determinación directa como en la búsqueda de métodos de predicción basados en el conocimiento de la composición química, degradabilidad o solubilidad de aquellos.

El coeficiente de metabolibilidad puede determinarse a partir del coeficiente de digestibilidad de la materia seca o de la energía utilizando el factor 0,82. Su valor puede transformarse en contenido en energía metabolizable multiplicando por 18,4 MJ/kg. Así mismo, dicho contenido puede calcularse a partir de la materia orgánica digerida, asumiendo que su valor es 19 MJ/kg y que la suma de las pérdidas relacionadas con la formación de CH_4 y excreción de productos en la orina supone un 18 % de aquel valor.

Entre los métodos de predicción de la digestibilidad y valor nutritivo cabe citar aquí los que hacen uso de preparaciones enzimáticas, por ejemplo, celulasas (MeLeod y Minson, 1978; Aufrere, 1982); de la medida del gas de fermentación, CH_4 y CO_2 (Menke y Raab, 1979); de la incubación en líquido ruminal (Tilley y Terry, 1963); o de la medida de la desaparición de sustrato colocado en bolsas de nylon incubadas en el rumen de corderos (Mehrez y Orskov, 1977), que vimos anteriormente al estudiar la degradabilidad de los concentrados proteicos. Estos métodos permiten estimar con razonable precisión la digestibilidad de recursos lignocelulósicos, siempre que se deriven ecuaciones de regresión específicas, por cuanto que la digestibilidad no solo es función de la naturaleza química, sino también de la estructura físico-química de los componentes de la pared celular.

Los Cuadros 4 y 5 muestran varias ecuaciones de este tipo, obtenidas en nuestro departamento (Aguilera y Molina, 1986; Molina y Aguilera, 1988) para estimar el valor nutritivo de orujos de aceituna.

En el Cuadro 4 figuran ecuaciones de regresión lineal que relacionan la digestibilidad in vivo de la materia seca, materia orgánica y energía con la composición química o la degradabilidad del orujo de aceituna. Merece la pena destacar que las estimaciones basadas en la cuantificación de la solubilidad en celulasa de *Trichoderma viride*, (4), (9), (12) y (14), muestran la mayor precisión, juzgada por el valor de la desviación estándar residual, con ventaja sobre el método basado en la determinación de la digestibilidad in vitro.

CUADRO 4: Estimación de la digestibilidad In vivo y del valor energético de un orujo de aceituna extractado y deshuesado, sometido a tratamiento alcalino, a partir de datos derivados de métodos de laboratorio (Aguilera y Molina, 1986).

	$y (\%) = a + b x$	r	RSD	n	Nivel de significación	
DMS in vivo	93,35 - 1,03 FND	-0,881	3,460	8	***	(1)
	137,68 - 2,06 FAD	-0,868	3,619	8	**	(2)
	120,57 - 3,40 LAD	-0,883	3,431	8	***	(3)
	1,73 + 0,85 SMS	0,913	2,938	12	***	(4)
	0,93 + 1,14 DMS In vitro	0,886	3,263	12	***	(5)
DMO In vivo	67,01 - 0,61 FND	-0,735	3,578	8	*	(6)
	92,89 - 1,22 FAD	-0,719	3,662	8	*	(7)
	81,22 - 1,94 LAD	-0,708	3,720	8	*	(8)
	8,57 + 0,73 SMO	0,758	3,181	12	**	(9)
	11,45 + 1,04 DMO In vitro	0,560	4,280	12	*	(10)
ED/EB	3,25 + 0,96 DMS in vitro	0,874	2,885	12	***	(11)
	3,59 + 0,72 SMS	0,908	2,484	12	***	(12)
EM/EB	1,18 + 0,93 DMS in vitro	0,784	4,006	12	***	(13)
	0,74 + 0,66 SMS	0,770	4,117	12	**	(14)
*= $p < 0,05$; **= $p < 0,01$; ***= $p < 0,001$						

En el Cuadro 5 se muestran ecuaciones para la predicción de la digestibilidad basadas en los datos derivados de una técnica físico-química que supera con mucho la precisión de las ecuaciones anteriores. Se trata de la medida de la densidad óptica o absorbancia a 280 nm, que puede aplicarse a la estimación de la digestibilidad de recursos lignocelulósicos tratados con álcalis, cual es este caso. El tratamiento alcalino libera de la fracción lignocelulósica grupos fenólicos que presentan un máximo de absorbancia a 280 nm. Como esta fracción lignocelulósica constituye el componente mayoritario de la materia orgánica, la medida de la absorbancia puede utilizarse para estimar la digestibilidad de esta última.

Cuadro 5: Estimación de la digestibilidad in vivo o del contenido en componentes digestibles de un orujo de aceituna extractado, deshuesado y sometido a tratamiento alcalino, a partir de la densidad óptica a 280 nm de la fracción soluble en agua (Molina y Aguilera, 1988).

y =	a +	bx	r	RSD	n	Nivel de significación
DFND in vivo, %	7,96	+1,16 Do	0,990	1,510	8	***
DFAD in vivo, %	0,286	+1,19 Do	1,000	0,353	8	***
DLAD in vivo, %	8,82	+0,787 Do	0,994	0,841	8	***
DMO in vivo, %	23,01	+0,551 Do	0,994	0,591	8	***
EM/EB, %	15,28	+0,679 Do	0,925	2,650	8	***
FNDD, g/kg MO	62,19	+6,33 Do	0,947	20,580	8	***
FADD, g/kg MO	2,506	+6,75 Do	1,000	1,239	8	***
LADD, g/kg MO	27,04	+2,13 Do	0,991	2,817	8	***
MOD, g/kg MS	225,51	+3,17 Do	0,979	6,339	8	***
EM, MJ/kg MS	3,42	+0,119 Do	0,944	0,395	8	***
***: $p < 0,001$						

La digestibilidad de la materia orgánica del recurso lignocelulósico dependerá de su contenido en componentes estructurales potencialmente digestibles y de la magnitud de su digestión ruminal. Esta última es función del tiempo de permanencia del alimento en el rumen y de la velocidad con que son fermentados los carbohidratos estructurales.

Los recursos lignocelulósicos con frecuencia contienen bajas cantidades de nitrógeno, con el resultado de que la fermentación microbiana viene limitada por la concentración de NH_3 en el rumen. El efecto favorable de la suplementación nitrogenada está bien documentado. Existe una estrecha relación entre cantidad de N necesaria para la flora microbiana ruminal y cantidad de energía potencialmente fermentable. Con determinados recursos lignocelulósicos su contenido en nitrógeno, aunque bajo, puede ser adecuado debido a su baja fermentabilidad, lo que explica, por ejemplo, la ausencia de respuesta a la suplementación con urea (Orskov y Grubb, 1978). Por la misma razón un tratamiento que aumente la cantidad de energía potencialmente fermentable, dando lugar a una mayor digestibilidad, originará un producto más deficiente en nitrógeno, de modo que el tratamiento del recurso

no será eficaz si al suministrar el subproducto tratado al rumiante no se lleva a cabo una suplementación con una fuente nitrogenada.

Por otro lado, la velocidad de degradación de los carbohidratos estructurales puede reducirse en presencia de carbohidratos solubles, lo que puede evitarse mediante la incorporación de cantidades apropiadas de bicarbonato que mantengan el pH ruminal por encima del valor 6,2 necesario para una óptima actividad de la flora celulolítica. La suplementación con recursos tales como maíz o sorgo, en lugar de trigo o cebada, es preferible, por cuanto aquellos contienen α -carbohidratos de más lenta degradación. Una amplia proporción del almidón de estas fuentes suplementarias escapará a la degradación ruminal y será digerido en el intestino con formación de glucosa, necesaria tanto para la síntesis de lactosa como para la formación de cofactores reducidos (NADPH+) imprescindible para la formación de ácidos grasos.

La determinación de parámetros ruminales tales como pH, concentración de NH_3 y proporción relativa de ácidos grasos volátiles (AGV) puede ser de gran utilidad para llevar a cabo una correcta suplementación de subproductos agroindustriales de carácter lignocelulósico.

En el Cuadro 6 se aprecia claramente la estrecha relación existente entre digestibilidad de la materia orgánica e ingesta voluntaria. Los datos se refieren al trabajo de Molina y otros (1983), aludido anteriormente, en el que bagazo de caña de azúcar se trató con niveles crecientes de hidróxido sódico para elevar su digestibilidad. Puede apreciarse que el aumento que experimenta el contenido en materia orgánica digestible del bagazo con el tratamiento alcalino se acompaña de un incremento en la cantidad ingerida de subproducto.

CUADRO 6: Digestibilidad e ingesta voluntaria de bagazo de caña de azúcar tratado con hidróxido sódico en ganado ovino (Molina y otros, 1983).

	Nivel de incorporación de NaOH (g/kg materia seca)			
	0	20	40	60
DMO %	33,2	47,5	54,4	56,7
MOD, g/kg MS	321	437	490	475
Ingesta, g MS/kg ^{0,75}	29,8	35,7	44,7	40,6

Dentro del tracto digestivo la cavidad retículo ruminal es la más afectada por el efecto de repleción causado por la ingestión de recursos lignocelulósicos, de modo que un vaciado más rápido del rumen, bien sea mediante su digestión y absorción o promovida por el paso de la digesta a través del orificio retículo-omasal promoverá aumento en la ingesta voluntaria. La importancia de la velocidad o ritmo de degradación reside en que determina la rapidez con que desaparecen los componentes digestibles y, por lo tanto, el tiempo durante el cual el alimento ocupa espacio en el rumen. Igual importancia cabe atribuir al ritmo de reducción del tamaño de partícula.

Ya se ha indicado que la velocidad y la magnitud de la fermentación ruminal pueden variar como consecuencia de la suplementación y ello repercute en la ingesta. Pero la suplementación además de este efecto directo sobre la fermentación ruminal puede afectar a la ingesta voluntaria a través de los cambios cualitativos y cuantitativos que provoca en los nutrientes absorbidos y, consecuentemente, por alterar el status metabólico del animal. Se ha demostrado que el desequilibrio en el aporte de nutrientes absorbidos es un factor limitante de la ingestión, lo que tiene especial relevancia con subproductos agroindustriales ricos en lignocelulosa.

Dado que el contenido en carbohidratos solubles de los recursos lignocelulósicos es minoritario, sólo una pequeña fracción del sustrato es inmediatamente susceptible de fermentación por la microflora ruminal. La fijación de las bacterias a la superficie de las partículas y la posterior formación de colonias requiere una fase lag, en la que apenas tiene lugar degradación alguna, que se extiende durante varias horas. No es sorprendente, pues, que muchos recursos lignocelulósicos no provean un suministro adecuado de nutrientes para cubrir las necesidades del animal en producción debido a su prolongado tiempo de retención, que impide la entrada de sustrato adicional, y las restricciones que impone el volumen ruminal. Un mayor volumen ruminal tiene efecto inmediato sobre la capacidad de ingesta, a la vez que prolonga el tiempo de exposición del alimento a la microflora ruminal.

Se señalaba anteriormente que los dos parámetros más importantes a considerar respecto a la utilización de los recursos lignocelulósicos son la ingesta de energía metabolizable y la cantidad de proteína microbiana sintetizada. El proceso de formación de biomasa bacteriana requiere la presencia de precursores y de energía, ATP, para llevar a cabo la síntesis de macromoléculas. La demanda energética más importante está relacionada con la síntesis de aminoácidos y su polimerización en proteínas. Se calcula que un 70 % del ATP disponible se utiliza en la síntesis de proteína microbiana. Los sustratos necesarios para la formación de proteína microbiana son productos intermedios de la fermentación ruminal, por lo que existe una relación inversa entre la producción de ácidos grasos volátiles y crecimiento bacteriano. Cuanto más elevada es la formación de AGV por unidad de sustrato menor es la formación de masa microbiana. La síntesis de proteína microbiana varía entre 10 y 35 g/100 g de materia orgánica fermentada. El objetivo debe ser maximizar esta formación. Respecto a ello solo indicar que un ritmo rápido de degradación de los carbohidratos estructurales aumenta la eficiencia de síntesis de la proteína microbiana, al dis-

minuir la cantidad de energía requerida para el mantenimiento de los microorganismos, por cuanto que permanecen menos tiempo en el rumen. De la misma manera, el aumento de volumen o un tiempo prolongado de retención de alimento en el rumen tenderá a disminuir la relación proteína microbiana/AGV producidos, con incremento de la producción de AGV. Cualquier operación que aumente el ritmo de tránsito tenderá a aumentar la eficiencia de formación de masa microbiana y con ello la eficiencia de conversión del alimento en producto animal.

Por otro lado, la presencia de protozoos tiende a disminuir la eficiencia de síntesis de proteína microbiana, debido a la predación que realizan de células bacterianas, lo que da lugar a un reciclado de nitrógeno que es energéticamente costoso. Todos los tratamientos que tiendan a disminuir el número de protozoos aumentarán la eficiencia de formación de proteína microbiana.

El segundo grupo dentro de la categoría de recursos energéticos corresponde a subproductos ricos en lignocelulosa y en nitrógeno. Este grupo está representado fundamentalmente por las excretas de animales. Su utilización debe ir dirigida principal, aunque no exclusivamente, a la alimentación de rumiantes y debe ir precedida de un tratamiento que elimine o reduzca el riesgo de patogeneidad. Su composición química es muy diversa, pero muestra invariablemente una alta proporción de nitrógeno en relación con la energía potencialmente utilizable, si bien su degradabilidad oscila ampliamente. En las heces de vacunos una alta proporción de N proteico es de origen microbiano o dietético, cuya utilización potencial por los microorganismos ruminales es muy baja, por ser indigestible. Una situación de similar indisponibilidad ocurre con la fracción nitrogenada de las heces de cerdos. La inclusión de orina eleva esta disponibilidad al propio tiempo que el componente de NNP. En las excretas de aves el contenido en nitrógeno es superior tanto en valores absolutos como en NNP, del cual entre 30 y 60 % es ácido úrico. Su utilización en los rumiantes como fuente suplementaria de nitrógeno dependerá de su capacidad para proveer NH_3 a la microflora ruminal. Constituyen en general un sustrato energético cuya amplitud y velocidad de degradación es lenta y desde este punto de vista tienen interés los tratamientos que potencien su valor nutritivo y con ello favorezcan la sincronización de los ritmos de utilización del N y energía del sustrato por la microflora ruminal. El nivel de inclusión de estos recursos en la ración siempre será reducido, como componentes en dietas equilibradas.

Los dos grupos de subproductos agroindustriales de carácter energético hasta ahora estudiados presentan en común complicaciones en cuanto a su suplementación con alimentos de gran densidad energética, ricos en α -carbohidratos, tales como concentrados o melazas, que son rápidamente fermentados por la microflora ruminal, con inhibición de la degradación de los carbohidratos estructurales. Ante ello la estrategia puede situarse en dirigir estos subproductos a la formulación de dietas de nivel de producción moderado, en las que se obtenga la máxima eficiencia de utilización energética de su componente lignocelulósico.

El tercer grupo de los subproductos agroindustriales de carácter energético comprende recursos de bajo contenido tanto en fibra como en nitrógeno. Su digestibilidad es muy elevada. Pertenecen a este grupo subproductos de la industria azucarera (melazas de caña y de remolacha); de la industria conservera y alimentaria (pulpas de cítricos). Su utilización preferente debe dirigirse a la alimentación de rumiantes. Estos recursos fermentan muy rápidamente en el rumen y requieren una suplementación nitrogenada de muy rápida disponibilidad, por lo que una fuente de NNP fácilmente degradable a NH_3 , por ejemplo urea, constituye el suplemento nitrogenado de elección.

Las melazas pueden alcanzar hasta un 20 % de la energía metabolizable total de la ración en dietas mixtas de cereales y forraje. Las pulpas de cítricos pueden utilizarse tanto directamente como prensadas. En este caso suele añadirse caliza para disminuir el carácter hidrosκόpico que les da su riqueza en pectinas. El zumo obtenido en su prensado contiene entre el 10 y 15 % de materia seca, de la que los azúcares forman el 50 a 70 %. El zumo puede concentrarse para dar lugar a una melaza que mezclada a la pulpa da lugar a un producto con un contenido energético próximo a 13 MJ de EM/kg MS y 10 g de N total/kg MS. Pueden usarse como sustitutivos de cereales, pero naturalmente requieren suplementación nitrogenada.

El cuarto grupo de subproductos agroindustriales de carácter energético es el formado por recursos de bajo contenido en fibra, consecuentemente, de alta digestibilidad y elevada riqueza en nitrógeno. Pertenecen a este grupo ciertos subproductos de la industria cervecera (bagazo de cerveza); azucarera (coronas y pulpa de remolacha); subproductos de molinería, etc. En general, su utilización no presenta ningún problema nutricional y puede ir dirigida tanto a animales monogástricos como rumiantes, con alguna excepción. Pueden alcanzar proporciones elevadas como componentes de dietas equilibradas. Las dificultades más serias para el empleo de alguno de ellos residen en problemas de almacenamiento, manejo y elevado contenido en agua que encarece su transporte y aconseja su uso en explotaciones cercanas al lugar de producción.

De los subproductos mencionados el bagazo de cerveza muestra el contenido más alto en fibra, a pesar de lo cual su valor energético medio es de 10 MJ de EM/kg MS. Su fracción nitrogenada alcanza valores próximos al 4 % sobre materia seca y está constituida principalmente por proteína que ofrece la valiosa característica de ser bastante resistente a la degradación ruminal pero hidrolizable en los procesos digestivos postruminales.

La pulpa de remolacha tiene un valor energético en rumiantes de 12 MJ de EM/kg MS y un contenido en nitrógeno total de 18 g/kg MS y puede alcanzar en vacuno de carne y lechero niveles del 65 y 50 % de la ración. Suele utilizarse granulada previa incorporación de un 7 % de melaza.

Las grasas animales y también los aceites vegetales, ambos incluidos en el grupo quinto de recursos energéticos, encuentran utilización preferente en dietas para monogástricos. En estos casos hay que prestar atención a la densidad energética de la ración y a la composición en ácidos grasos de estos recursos en relación con posibles efectos sobre la calidad de la canal. Aunque el animal rumiante posee una buena capacidad de digestión de las grasas, la presencia de éstas, especialmente de grasa insaturada, reduce la actividad de la microflora celulolítica, porque dificulta la colonización de partículas y, consecuentemente, disminuye la velocidad y magnitud de la degradación de los carbohidratos estructurales, lo que conduce a un descenso en la ingesta voluntaria. El tratamiento de grasas para evitar su degradación ruminal puede ser de gran interés al respecto.

Los subproductos agroindustriales incluidos en los tres últimos grupos pueden formar parte de dietas utilizadas en sistemas de producción intensiva, en contraste con los subproductos pertenecientes a los dos primeros grupos.

No cabe duda de que en el futuro tanto los países industrializados como los países en vías de desarrollo harán un mayor uso de los subproductos agroindustriales como fuentes alternativas de proteína y energía para la alimentación animal.

BIBLIOGRAFÍA

- 1- AGUILERA, J.F. y MOLINA, E. 1986. *Ann. Zootech.*, 35, 205-218.
- 2- AUFRERE, J. 1982. *Ann. Zootech.*, 31, 111-130.
- 3- GANEV, G., ORSKOV, E.R. y SMART, R. 1979. *J.Agric.Sei. Camb.*, 93: 651-656.
- 4- HUME, I.D. 1970. *Austr. J.Agric.Res.* 21:305-313.
- 5- MeLEOD, M.N. y MINSON, D.J. 1978. *Anim.Feed.Sei. Technol.*, 3: 277-287.
- 6- MEHREZ, A.Z. y ORSKOV, E.R. 1977. *J.Agric.Sei. Camb.*, 88. 645-650.
- 7- MENKE, K.N. y RAAB, L. 1979. *J.Agric.Sei. Camb.*, 93 : 217-222.
- 8- MOLINA, E. y AGUILERA, J.F. 1988. *Ann. Zootech.*, 37 (en prensa).
- 9- MOLINA, E., BOZA, J. y AGUILERA, J.F. 1983. *Anim.Feed. SeL Technol.*, 9: 1-17.
- 10- NIMRICK, K., HATFIELD, E.E., KAMINSKI, J. y OWENS, F.N. 1970. *J.Nutr.* 100: 1301-1306.
- 11- OKORIE, A.U., BUTTERY, P.J. y LEMS, D.J. 1977. *Proc.Nutr.Soc.*, 36, 38A.
- 12- ORSKOV, E.R. 1985. *In: Better utilization of crop residues and byproducta in animal feeding: Research Guidelínes. 1. State of Knowiedge* (Preston, T.R., Kossila, V.L., Goodwin, J. y Reed, S., eds.). FAO Animal Production and Health No 50, pag. 163-184.
- 13- ORSKOV, E.R. y GRUBB, D.A. 1978. *J.Agric.Sei. Camb.*, 91: 483-486.
- 14- ORSKOV, E.R. y MeDONALD, I. 1979. *J.Agric.Sei. Camb.*, 92- 499-503.
- 15- RAYMOND, W.F. 1980. *In: By-products and wastes in animal feeding* (Orskov, E.R., ed.). British Society of Animal Production. Ocasional Publication N° 3, pag. 3-5.
- 16- SATTER, L.D. y SLYTER, L.L. 1974. *Br. J.Nutr.* 32: 199-208.
- 17- THOMAS, P.C. 1973. *Proc.Nutr.Soc.*, 32: 85-92.
- 18- TILLEY, J.M.A. y TERRY, R.A. 1963. *J.Br.Grassl. Soc.*, 18:104-111

Volver a: [Manejo del alimento](#)