

REVISIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LOS MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DEL VALOR ENERGÉTICO DEL ENSILADO DE MAÍZ EN GALICIA



En este trabajo se pretende dar información sobre los diferentes métodos de estimación del valor energético del ensilado de maíz producido en las explotaciones lecheras.

S. Pereira-Crespo¹, R. Lorenzana¹, M. Barreal¹, C. Resch², A. Botana², M. Veiga², G. Flores-Calvete²

¹Laboratorio Interprofesional Gallego de Análisis de la Leche (LIGAL)

²Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (CIAM)

» INTENSIFICACIÓN FORRAJERA Y CULTIVO DEL MAÍZ EN LAS EXPLOTACIONES DE LECHE

El desarrollo del sector productor de vacuno lechero en Galicia ha ido unido al incremento de la importancia de la utilización de forrajes ensilados en la alimentación del ganado, acentuada en los últimos años en paralelo a una rápida concentración de la producción en un número cada vez más reducido de explotaciones. La comparación de los resultados de dos trabajos sobre la estructura de las explotaciones gallegas realizados en el CIAM en los años 1996 y 2013 ilustra los cambios acontecidos en la estructura productiva de las explotaciones. Siguiendo a Fernández-Lorenzo *et al.* (2016), en este periodo de menos de dos décadas el número de explotaciones lecheras gallegas se redujo drásticamente,

pasando de 47 mil a 12 mil unidades productoras, mientras que la superficie agraria útil (SAU) destinada a producir alimento para el ganado pasó de 380 mil ha a 245 mil. En cambio, la producción total de leche se incrementó en un 20 %, desde algo menos de 2 millones (M) de toneladas en 1996 a 2,4 M de toneladas en 2013, mientras que la producción de leche por ha de SAU se duplicó, pasando de 5,2 a 9,8 mil L/ha SAU y evidenciando un uso más intensivo de la base territorial de las explotaciones. Así, en el conjunto de las explotaciones gallegas de leche, la superficie total de cultivos forrajeros (en su práctica totalidad maíz como cultivo de verano, que habitualmente rota con raigrás italiano sembrado en otoño en un sistema de dos cultivos/año) pasó de representar el 11 % de la SAU media de las explotaciones al 27 % de la SAU, con aproximadamente 45 mil ha en 1996 y 66 mil ha en 2013 (+ 23 %); mientras, la superficie total dedicada a la producción de hierba (praderas y prados) prácticamente se dividía a la mitad, desde las 342 mil ha hasta las 176 mil ha.

Estos datos ponen de manifiesto que la intensificación productiva de las explotaciones gallegas se produjo en gran medida con base en la intensificación forrajera de las explotaciones lecheras gallegas, que tuvo como protagonista el cultivo de maíz forrajero aprovechado como ensilado. Una estimación de la importancia del uso de ensilado de maíz en las raciones de las vacas de leche de la denominada “España húmeda” la podemos encontrar en el informe titulado *Encuesta sobre estructura y sistemas de alimentación de las explotaciones lecheras de Galicia, Cornisa Cantábrica y Navarra* (<http://ciam.gal/pdf/informeinia.pdf>), fruto de un trabajo colaborativo entre los centros públicos de investigación dependientes de las comunidades autónomas de Galicia, Asturias, Cantabria, País Vasco y Navarra (Flores-Calvete *et al.*, 2017). En él se indica que, de las aproximadamente 110 mil ha de maíz forrajero cultivado en España, un 80 % del total se cultivaría en las explotaciones lecheras de la zona norte, de las cuales Galicia concentra el 60 % del total español. Asimismo, los resultados del citado trabajo permiten estimar que, de 3,8 M toneladas de leche total producida en la zona norte, aproximadamente 2,5 M (el 65 % del total) proceden de explotaciones que utilizan típicamente dietas basadas en ensilado de maíz como principal ingrediente forrajero, lo que representa el 65 % de la leche total, cifra que en el caso de Galicia ascendería al 71 % de la leche.

LA IMPORTANCIA DE LA ATENCIÓN A LOS COSTES DE ALIMENTACIÓN

El aprovechamiento de las tierras para la producción de forrajes de alta calidad en la propia explotación debe cobrar mayor protagonismo en el modelo productivo del sector lácteo gallego, dado que, con prácticas de manejo adecuadas, los forrajes producidos en las explotaciones constituyen la fuente alimenticia más barata para la producción de leche (Beauchemin y Rode, 2012; Chamberlain, 2013). La partida de alimentación es la más destacable de la estructura de costes, como indican diversos autores, entre ellos Sineiro *et al.* (2016). Estos observaron en un estudio realizado con un grupo de explotaciones de la cornisa cantábrica (n=27) durante el último trienio que el principal componente de los gastos en una explotación es atribuible a la alimentación, en la que se incluyen los alimentos comprados y los forrajes producidos en ella. En concreto, el peso de estas partidas equivale a $\frac{3}{4}$ partes de los costes variables y al 59 % si le adicionamos los fijos y las amortizaciones.

Entre las explotaciones estudiadas, los citados autores observaron una elevada disparidad en la eficiencia productiva, siendo la mayor diferencia en los costes de alimentación. Las explotaciones más eficientes por tener un coste más bajo por cada litro de leche producida se corresponden con las que poseen una mayor disponibilidad de tierras, que las lleva a ser más autosuficientes en forrajes. Por lo tanto, desde una perspectiva de gestión de la granja, en la mejora del beneficio obtenido por litro de leche producida son claves la contención y el ajuste de los costes de alimentación para garantizar su viabilidad, por lo que se hace necesario optimizar el incremento en el uso de forrajes de alta calidad y su eficiencia de utilización en el racionamiento de las vacas de leche. »

LALSIL® Fresh

La solución más fresca para su ensilado



LALSIL® Fresh, *Lactobacillus buchneri* NCIMB 40788 :

- Limita las pérdidas por mohos y hongos,
- Conserva su ensilado fresco y apetente hasta el comedero,
- Optimiza el valor nutricional de su ensilado.



A cada ensilado su solución Lalsil

LALSIL®

LALLEMAND BIO, SL
Télf: (+34) 93 241 33 80 Email: animal-iberia@lallemand.com

www.lallemandanimalnutrition.com

LALLEMAND

LA EVALUACIÓN NUTRITIVA DE LOS FORRAJES PRESENTA UNA GRAN RELEVANCIA DEBIDO A LA ELEVADA VARIABILIDAD DE SU VALOR NUTRITIVO Y A SU ALTA CONTRIBUCIÓN AL TOTAL DE LA MATERIA SECA DE LA RACIÓN EN COMPARACIÓN CON EL CONCENTRADO

LA NECESIDAD DEL CONOCIMIENTO DEL VALOR NUTRITIVO DE LOS FORRAJES

El avance de los conocimientos científicos sobre la fermentación ruminal obligó a cambios importantes en el planteamiento de raciones para vacas de leche. Estos cambios tienen su fundamento en la mayor disponibilidad de nutrientes para el crecimiento microbiano en el rumen (energía y proteína) y así aumentar la eficacia de síntesis de la proteína microbiana y optimizar la digestibilidad de la fracción fibrosa de los forrajes (Henning *et al.*, 1993). La sincronía ruminal de los aportes de energía y proteína permite reducir los costes de alimentación, mejorar el bienestar animal con base en la reducción de los desequilibrios del funcionamiento ruminal y disminuir la concentración de NH_3 en el rumen (Sniffen *et al.*, 1992), disminuyendo la excreción de N al medio, con la consiguiente reducción del impacto ambiental de la actividad ganadera.

Asimismo, en los últimos años se han desarrollado programas informáticos complejos para el cálculo de raciones para el ganado, que son empleados por la mayoría de los nutricionistas. El gran avance en la computación, en muchos casos, no fue acompañado de la mejora de la calidad y de la actualización de los datos que se introducen en estos programas. Para aprovechar las capacidades de estos modelos de formulación es necesario disponer de un sistema preciso y fiable de valoración nutricional de los ingredientes que componen las raciones, particularmente de los forrajes, debido a su gran variabilidad en comparación con los concentrados. De esta forma, el nutricionista que formula las raciones para el ganado vacuno de leche necesita conocer, fundamentalmente, el contenido energético de los forrajes y su valor proteico.

El conocimiento preciso de la composición de los alimentos para el ganado es una condición necesaria para su utilización eficiente en la alimentación animal, a través de la preparación de dietas equilibradas. Tal información es vital cuando se trata de alcanzar los altos niveles de producción animal hoy en día requeridos para una producción competitiva. La evaluación nutritiva de los forrajes presenta una gran relevancia debido a la elevada variabilidad de su valor nutritivo y a su alta contribución al total de la materia seca de la ración en comparación con el concentrado. Por otra parte, el conocimiento de la composición química y del valor nutricional de los alimentos para el ganado son fundamentales para la planificación de la producción forrajera de las explotaciones, de forma que los cultivos elegidos y su manejo respondan a las necesidades de una dieta equilibrada y económica para los animales a cuyo consumo van destinados.

El valor nutricional de los forrajes varía fundamentalmente debido a factores relacionados con su genotipo, con el estado fisiológico, con factores de medio y a consecuencia de los procesos a los que son sometidos (variabilidad intrínseca). Otra importante fuente de variabilidad, con frecuencia ignorada, surge de las diferencias en la metodología utilizada en la obtención de la información (variabilidad extrínseca), toda vez que los procedimientos de análisis y los protocolos de obtención de información con animales pueden variar de acuerdo con el laboratorio o centro experimental donde se desarrollan los trabajos. Este tipo de variabilidad debería ser minimizada para la obtención de resultados comparables y útiles. Para alcanzar la robustez necesaria, la información relacionada con las características químicas y nutricionales de un forraje debe ser cuidadosamente examinada antes de su incorporación a una base de datos y, una vez incorporada, necesita ser manejada también con cuidado. De no hacerlo así, se producirá una falsa variabilidad entre forrajes que puede comprometer el uso en la práctica de la información generada.

Desde el punto de vista nutritivo, el ensilado de maíz destaca por ser un alimento de elevado valor energético a causa de su moderado contenido en fibra y a su alto contenido en almidón, pero de bajo contenido proteico. Los valores medios de materia seca (MS), de almidón (AMD), de digestibilidad de la materia orgánica (DMO), de energía neta leche expresada en unidades forrajeras de leche (UFL) y de proteína bruta (PB) de las muestras recibidas en el LIGAL para su análisis en los últimos 13 años fueron los siguientes: MS: 32,5 %; AMD: 28,6 % MS; DMO: 70,5 %; UFL: 0,94 kg/MS y PB: 8,1 % MS. El perfil energético del ensilado de maíz se complementa adecuadamente con el perfil proteico del ensilado de hierba, en particular de trébol o de otras leguminosas forrajeras, para elaborar raciones equilibradas y económicas para el ganado lechero.

SIMULACIÓN DE LA IMPORTANCIA DE UNA CORRECTA ESTIMACIÓN DEL VALOR ENERGÉTICO DEL ENSILADO DE MAÍZ

La repercusión en los costes de alimentación de la subestimación del valor energético del ensilado de maíz es indicativo del beneficio que se deriva del conocimiento del valor nutricional de los forrajes de una manera precisa y fiable. Como es sabido, una sobreestimación del valor energético real de un forraje de base de la ración implicará una pérdida en la producción de leche, mientras que la subestimación tendrá el efecto de incrementar innecesariamente el gasto de concentrado. Otra forma de evidenciar la importancia de disponer de métodos que permitan una estimación precisa del valor energético de los forrajes (en este caso el ensilado de maíz) es el cálculo de la superficie de SAU necesaria para compensar, en términos de energía, el déficit causado por una estimación incorrecta cuando esta se produce a la baja. >>>

UNA SOBRESTIMACIÓN DEL VALOR ENERGÉTICO REAL DE UN FORRAJE DE BASE DE LA RACIÓN IMPLICARÁ UNA PÉRDIDA EN LA PRODUCCIÓN DE LECHE, MIENTRAS QUE LA SUBESTIMACIÓN TENDRÁ EL EFECTO DE INCREMENTAR INNECESARIAMENTE EL GASTO DE CONCENTRADO

Como ejercicio, tomemos los valores medios de DMO y UFL citados anteriormente para las muestras de ensilado de maíz recibidas en el LIGAL (DMO=70,5 %, UFL/kg MS=0,94) y supongamos que estamos cometiendo un error sistemático subestimando en un 5 % el valor energético. En el citado informe de estructura de las explotaciones del norte de España se indica que en la dieta media de las vacas en las explotaciones que basaban la alimentación en dietas *unifeed* con predominio de ensilado de maíz (aproximadamente 2.800 explotaciones) este forraje representaba un 35 % de la MS total de la ración, lo que suponía un consumo de aproximadamente 8 kg de MS de ensilado de maíz por vaca y día durante la lactación, mientras que en las granjas que seguían dietas típicas de ensilados de maíz y de hierba (unas 3.900 explotaciones), el ensilado de maíz representaba un 25 % de la MS total ofertada por vaca y equivalía a un consumo de aproximadamente 5 kg de MS de ensilado de maíz por vaca y día. El primer grupo de explotaciones tenía de media 60 vacas en 32 ha de SAU, producía 542 mil kg de leche/año y suponía un total agregado de 1,5 M toneladas de leche/año en la zona norte; mientras, el segundo grupo tenía de media 38 vacas en 25 ha de SAU, producía 280 mil kg de leche/año y el volumen total agregado de leche de este tipo de granjas ascendía a 1,1 M toneladas/año.

La subestimación en un 5 % en el valor energético del ensilado de maíz supone una energía neta correspondiente a un incremento de 0,5 kg de cereal/vaca y día en el primer grupo y 0,3 kg de cereal/vaca y día en el segundo, que representarían respectivamente un *input* adicional de 9,0 y 3,4 toneladas de cereal por explotación y campaña. Siendo la SAU el factor de producción más limitador en la zona norte de la península para la producción de leche, estas cantidades serían equivalentes a una necesidad extra de superficie por explotación de entre 1,8 y 0,7 ha, lo que representa +5,5 % y +2,7 % de la SAU actual media de ambos grupos de explotaciones y que ilustra la importancia de disponer de métodos precisos y fiables para la estimación del valor energético de los forrajes empleados en la alimentación del ganado.

MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DEL VALOR ENERGÉTICO DE LOS FORRAJES

La digestibilidad de un forraje determina su valor energético, indicando el suministro de energía al animal. Se define como el balance del material que desaparece a lo largo de su tránsito digestivo, es decir, la proporción de alimento digerido. La DMO representa la medida de la energía disponible para los rumiantes y se utiliza en los sistemas de evaluación proteica (Verité *et al.*, 1987) para calcular la materia orgánica fermentable en el rumen, que, a su vez, se emplea para estimar la síntesis de proteína microbiana en este. Las técnicas de determinación del valor energético se basan en la medida directa de la DMO de los alimentos en animales (técnicas de digestibilidad *in vivo*), por lo general con pequeños rumiantes (ovinos) por razones de operatividad, toda vez que las medidas de digestibilidad medidas en ganado ovino son extrapolables al ganado vacuno efectuando las oportunas correcciones en función del nivel de alimentación en que se realizó la medición. Las determinaciones de digestibilidad *in vivo* representan las cifras de referencia y se consideran los datos más exactos, repetibles y útiles; son los estándares frente a los cuales debe probarse la exactitud de los métodos indirectos de la estimación del valor energético. Habitualmente las evaluaciones de DMO *in vivo* se realizan alimentando a ovinos con el forraje problema alojados en jaulas metabólicas dotadas de separadores de heces y orinas y diseñadas de manera que se minimice el estrés de los animales. Durante la evaluación se realiza diariamente el control y la toma de muestras del alimento ofertado y rechazado y de la producción de heces para cada animal. Puesto que se trata de técnicas complejas, largas y caras, solo se emplean para formar colecciones de muestras de referencia.

En el CIAM se iniciaron las evaluaciones de DMO *in vivo* en los años 90 del siglo pasado y continúan en la actualidad en un permanente esfuerzo por mejorar la calidad de los métodos de estimación del valor energético de los forrajes más utilizados en la alimentación del ganado. Gracias a esta importante labor, el centro dispone de una valiosa y amplia colección de muestras de DMO *in vivo* conocida de diferentes alimentos, principalmente de ensilados de hierba y de ensilados de planta entera de maíz; también existen colecciones de muestras de referencia evaluadas *in vivo* de otros forrajes tanto ensilados como frescos (cultivos de leguminosas, cereales de invierno y sus mezclas, por ejemplo). La generación de métodos propios para estimar el valor energético de los forrajes implica, como es natural, un elevado volumen de determinaciones *in vivo* y de análisis de muestras de forrajes y materiales de origen animal (heces y, en determinados casos, orina) por métodos de referencia en el laboratorio, para lo cual fue fundamental la colaboración continuada con el Laboratorio Interprofesional Gallego de Análisis de la Leche (LIGAL) a través de distintos proyectos de investigación y convenios de colaboración. El LIGAL presta, entre otros servicios, el de análisis de los alimentos para el ganado, colaborando desde su puesta en funcionamiento con el CIAM en proyectos de mejora de los métodos de estimación del valor nutricional de forrajes frescos y ensilados, con especial énfasis en el desarrollo y en la aplicación de la tecnología NIRS. >>>

LAS DETERMINACIONES DE DIGESTIBILIDAD *IN VIVO* REPRESENTAN LOS VALORES DE REFERENCIA Y SE CONSIDERAN LOS DATOS MÁS EXACTOS, REPETIBLES Y ÚTILES; SON LOS ESTÁNDARES FRENTE A LOS CUALES SE DEBE PROBAR LA EXACTITUD DE LOS MÉTODOS INDIRECTOS DE LA ESTIMACIÓN DEL VALOR ENERGÉTICO

TÉCNICAS ALTERNATIVAS DE LA ESTIMACIÓN DEL VALOR ENERGÉTICO DE FORRAJES

La necesidad de disponer de métodos indirectos para estimar el valor energético de los forrajes surge de la imposibilidad de utilizar las determinaciones *in vivo* como rutina de análisis a causa de las obvias limitaciones de coste, tiempo y mano de obra. Entre los métodos alternativos para la asignación de un valor energético a un forraje problema citamos, de menor a mayor índice de fiabilidad, la disponibilidad de valores tabulados, el establecimiento de relaciones empíricas entre la composición química del forraje y la digestibilidad, la digestión *in vitro* en el laboratorio y la tecnología NIRS.

Datos de composición de alimentos recogidos en tablas y bases de datos

El uso de tablas de alimentos y bases de datos de origen foráneo, principalmente de origen francés (INRA) y americano (NRC), fue tradicionalmente una práctica habitual en España. Actualmente las tablas de la Federación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA) alcanzaron una difusión comparable a las del INRA y a las de NRC, a pesar de que su alcance y su número de entradas son limitados. El Servicio de Información sobre Alimentos de la Universidad de Córdoba dispone de una base de datos que integra información obtenida en distintos laboratorios españoles, entre ellos los generados en el CIAM y en el LIGAL, sobre la composición química y el valor nutritivo de forrajes. Si bien el acudir a los valores tabulados para un determinado forraje parece el método más fácil del que obtener información, existe el inconveniente de que en las tablas de datos se recogen datos medios para cada especie acompañados, en el mejor de los casos, del estado de madurez de la muestra cuyos valores se referencian en la base de datos. A diferencia de lo que ocurre con otros alimentos del ganado, como cereales, granos de proteaginosas y oleaginosas, entre otros, que tienen una composición relativamente poco variable, la composición y el valor energético de los forrajes, incluso de una especie determinada recogida en un estado fisiológico concreto, pueden ser muy diferentes dependiendo del suelo, del clima, de los cuidados culturales y del tratamiento poscosecha. Por tanto, la utilidad de los valores tabulados se limita a dar una valiosa información acerca de los valores medios que en ningún caso se pueden aplicar a muestras problema concretas, sobre todo en el caso de tablas foráneas que proceden de otras áreas geográficas y de cultivos diferentes a aquellos de los que proceden las muestras cuya composición y valor energético queremos conocer. Por otra parte, la mayoría de las tablas de alimentos se elaboran mezclando informaciones procedentes de fuentes muy diversas, por lo general analizadas con procedimientos analíticos diferentes y no estandarizados o contrastados, lo cual es particularmente relevante en lo que se refiere a la estimación de los valores energéticos de forrajes.

Modelos de regresión basados en parámetros químicos como predictores para la estimación del valor energético del forraje de maíz

Los métodos de estimación requieren el establecimiento de ecuaciones de regresión que relacionan la magnitud a estimar (variable dependiente) con el predictor o predictores (variables independientes). En este caso, los atributos de exactitud y precisión se refieren a la bondad de ajuste obtenida por el modelo en la colección de muestras y empleada para desarrollar la regresión (conjunto de calibración).

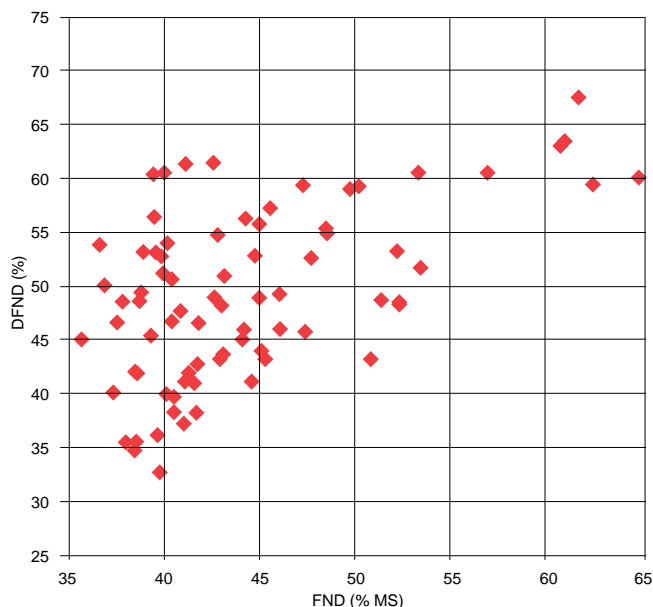
El uso de ecuaciones es una de las formas más comunes de estimar la digestibilidad de un forraje, toda vez que la determinación de su composición química es más rápida y menos costosa que los métodos *in vitro*. Las ecuaciones se derivan de regresiones establecidas entre la DMO *in vivo* y la concentración de una determinada fracción química, usualmente la estimación de la pared celular (fibra neutro detergente, FND), de la lignocelulosa (fibra ácido detergente, FAD), de la fibra bruta (FB), de la lignina (LAD) o de la proteína (PB). Por lo general, el contenido en fibra de un forraje está correlacionado negativamente con la DMO, mientras que el contenido en PB muestra una correlación positiva. Generalmente, estos modelos de regresión presentan un relativamente bajo poder predictivo (Krizsan *et al.*, 2012; Huhtanen *et al.*, 2006; Nousiainen *et al.*, 2004) y deben ser construidos y validados para áreas geográficas concretas a partir de bases de datos suficientemente amplias de muestras analizadas por métodos de referencia en el laboratorio y de las cuales se conozcan los valores de DMO *in vivo*. Bajo esta premisa, y dado el efecto que las condiciones del medio ejercen sobre la relación entre la composición química de los forrajes y su DMO o valor energético, es generalmente reconocido que la exactitud y la precisión de las estimaciones proporcionadas por las ecuaciones de predicción de valor energético de los forrajes será mucho más elevada cuando se utilizan ecuaciones obtenidas en la misma área geográfica de origen de las muestras que recibe el laboratorio que cuando se compara con la aplicación de ecuaciones foráneas, procedentes de otros ambientes y, con frecuencia, no contrastadas o validadas. Es suficientemente conocido, por ejemplo, que la temperatura y la intensidad de la luz afectan a la lignificación de la pared celular del forraje, favoreciendo que las temperaturas suaves y la mayor intensidad lumínica produzcan un menor grado de lignificación y que las temperaturas altas y la baja intensidad lumínica ejerzan un efecto contrario (Van Soest *et al.*, 1978). Como consecuencia, muestras con el mismo contenido químico en pared celular (FND) e incluso en lignina (LAD) pueden tener valores de DMO significativamente diferentes motivados por el distinto grado de entrecruzamiento de la lignina con las cadenas de la degradación microbiana de la pared celular de los forrajes en el rumen (Deinum *et al.*, 1968; Van Soest, 1994).

LA TÉCNICA *IN VITRO* MÁS PRECISA Y FIABLE ES EL MÉTODO TILLEY-TERRY, QUE UTILIZA INÓCULO RUMINAL DE ANIMALES DONANTES PARA INCUBAR LAS MUESTRAS Y NECESITA CONTAR EN TODO CASO CON ECUACIONES QUE RELACIONEN LOS VALORES OBTENIDOS EN EL LABORATORIO CON LOS VALORES REALES MEDIDOS EN ENSAYOS *IN VIVO*

Los resultados de los trabajos realizados en el CIAM-LIGAL (por ejemplo, Flores *et al.*, 2004) confirman las observaciones de otros autores relativas a que la predicción de la DMO *in vivo* a partir de la composición química de la planta entera de maíz, y más concretamente de su contenido en fibra, se ve dificultada por la relativamente escasa correlación existente entre ambas, lo que conduce al establecimiento de ecuaciones de un poder predictivo en general mediocre. En un clásico trabajo de Andrieu (1976) se señala la ausencia de correlaciones significativas entre la DMO *in vivo* de las plantas de maíz normalmente desarrolladas (frescas o ensiladas) y los valores de materia seca, de fibra bruta, de porcentaje de mazorca y de número de días tras la floración femenina. Sin embargo, cuando considera solo aquellas plantas cosechadas a partir de los 40 días de la floración, existen correlaciones significativas con el contenido en fibra bruta ($r=-0,45$) y con el porcentaje de mazorca ($r=0,54$).

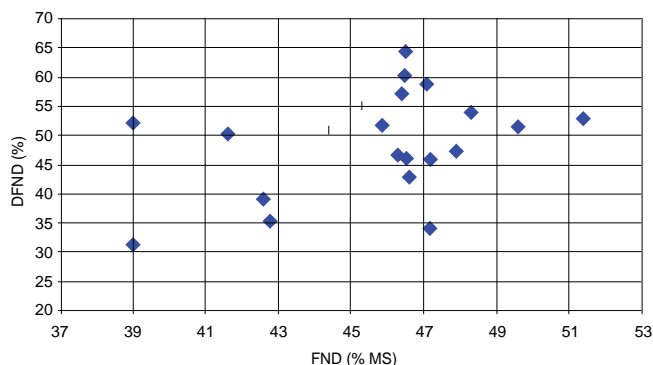
Es relativamente habitual encontrar referencias de laboratorios que utilizan el contenido en FND para la estimación del valor energético del ensilado de maíz mediante ecuaciones de regresión. Este hecho se basa en la asunción de que la digestibilidad de la FND es siempre la misma, lo cual no es cierto en absoluto por las razones apuntadas anteriormente. En la figura 1 se muestra la relación entre la digestibilidad de la FND (DFND) y el contenido en FND de la colección de muestras de ensilado de maíz evaluados *in vivo* en el CIAM y analizados por métodos de referencia; en ella se puede observar que para la misma concentración de FND la digestibilidad de la FND (DFND) puede variar más de 10 unidades. En el mismo sentido, en la figura 2 se representa la relación entre DFND y FND obtenida en el trabajo realizado por Robinson (2001) en la Universidad de California (E.E. UU.), en la cual para un mismo contenido en FND y DFND puede verse una variación de más de 20 unidades. »

Figura 1. Relación entre el contenido en pared celular (FND) y su digestibilidad (DFND) en la colección de muestras de ensilado de maíz de digestibilidad *in vivo* conocida



Fuente: CIAM, Flores-Calvete *et al.* (2004)

Figura 2. Relación entre DFND y FND en el ensilado de maíz



Fuente: Robinson (2001)

AgroBank

**Asesoramiento
y servicio para
el sector agrario**



En la tabla 1 se muestra un conjunto de ecuaciones de predicción de la DMO *in vivo* de ensilados de planta entera de maíz con parámetros químicos como predictores construidas a partir de la base de muestras del CIAM donde se puede apreciar que todos los modelos explican una pequeña porción de la variabilidad de la DMO, evidenciada por el valor del coeficiente de determinación (R^2) que oscila entre el 22 % para la regresión simple con FND como predictor y el 48 % para el modelo múltiple con LAD, PB y FB como predictores en la fase de validación de las ecuaciones.

Tabla 1. Ecuaciones de regresión con parámetros químicos como predictores de la DMO de ensilados de maíz en condiciones normales de madurez ($MS \geq 28$ %) publicadas en el CIAM (Flores-Calvete *et al.*, 2004)

Ecuación de predicción	Calibración		Validación cruzada	
	R^2_c	RSD _c	R^2_{cv}	RSD _{cv}
DMO= 88,25 - 0,457 FND	0,26***	2,78	0,22***	2,84
DMO= 84,76 - 0,658 FAD	0,30***	2,70	0,27***	2,75
DMO= 84,01 - 0,692 FB	0,33***	2,65	0,30***	2,70
DMO= 78,05 - 4,215 LAD	0,36***	2,59	0,32***	2,65
DMO= 80,05 - 0,689 FAD + 0,845 PB	0,38***	2,57	0,33***	2,63
DMO= 79,15 - 0,729 FB + 0,874 PB	0,41***	2,50	0,37***	2,56
DMO= 72,30 - 4,634 LAD + 1,035 PB	0,47***	2,37	0,42***	2,45
DMO= 78,50 - 3,257 LAD + 1,044 PB - 0,425 FB	0,56***	2,18	0,48***	2,32

DMO: digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica (%); FND, FAD, LAD y PB expresados en % MS; significación del modelo: *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; n.s.: no significativo ($p > 0,05$); R^2 : coeficiente de determinación; RSD: desviación estándar residual

Métodos *in vitro*

De la misma forma que parece existir concordancia en la bibliografía sobre el escaso poder predictor de los métodos basados en parámetros químicos simples, es casi general la opinión sobre la mejora que supone la utilización de los métodos *in vitro* en la estimación de la DMO de forrajes, tanto los basados en la utilización de líquido ruminal (Tilley-Terry, 1963) como los métodos enzimáticos pepsina-celulasa (McLeod y Minson, 1978; Aufrère y Michalet-Doreau, 1988). El método Tilley-Terry (1963), basado en la incubación de las muestras de alimento en líquido ruminal y pepsina, intenta simular la digestión ruminal y gástrica en el animal y es uno de los más útiles para la predicción de la DMO en forrajes. El principal inconveniente de esta técnica es la laboriosidad de su determinación, lo que no se adapta bien con las labores de estimación rutinaria en un laboratorio y su dependencia de una fuente de inóculo ruminal, con la consiguiente necesidad de instalaciones y mano de obra para su cuidado. Algunas técnicas sustituyen el inóculo ruminal con celulasas comerciales, las cuales muestran baja utilidad en las estimaciones de DMO *in vivo* de forrajes. En comparación con el método de incubación ruminal, la determinación pepsina-celulasa es más sencilla, demanda menos tiempo de análisis y no requiere animales. No obstante, el principal problema de esta

técnica es la variación en la actividad de las preparaciones enzimáticas, la variabilidad en las celulasas comerciales al proceder de diferentes fuentes fúngicas o de proveedores diferentes, por lo que puede variar su capacidad para solubilizar las paredes celulares (Krizsan *et al.*, 2012), lo que afecta a su reproducibilidad. La técnica *in vitro* más precisa y fiable es el método Tilley-Terry, que utiliza inóculo ruminal de animales donantes para incubar las muestras y necesita contar en todo caso con ecuaciones que relacionen los valores obtenidos en el laboratorio con los valores reales medidos en ensayos *in vivo*, para lo cual se precisan ecuaciones de paso *in vitro-in vivo* para cada tipo de forrajes (Dardanne *et al.*, 1993).

Técnica NIRS

De entre las distintas técnicas indirectas para la predicción de la composición y del valor nutricional de forrajes disfruta de una relevancia cada vez más importante la técnica NIRS. Esta tecnología está basada en la absorción de una determinada cantidad de energía en función de la concentración y naturaleza de los enlaces químicos del forraje en la región del infrarrojo próximo. Al desarrollar una calibración NIRS, la información espectral se relaciona mediante un algoritmo con la información de la composición química y con el valor nutricional, determinada por métodos de referencia a través de la aplicación de modelos estadísticos como son la regresión múltiple y el análisis de componentes principales (Murray, 1993).

La superioridad de esta técnica reside en que permite obtener resultados de forma rápida, precisa, sin utilización de reactivos, con una reducida necesidad de personal y a un comparativamente bajo coste. Además, esta técnica es especialmente adecuada para el procesado de grandes números de muestras y el coste del análisis es reducido, al ser poco demandante de mano de obra, a pesar del coste relativamente elevado del equipo. Su uso está hoy generalizado en los laboratorios de análisis con base en estas premisas.

La técnica NIRS requiere necesariamente la calibración con un colectivo de muestras de composición química y con un valor nutricional conocidos, determinados por métodos de referencia. La técnica requiere un conjunto de datos suficientemente amplio y una actualización frecuente, que debe representar, en cuanto a la naturaleza de las muestras y a su variabilidad, la población de muestras objeto de la predicción (Beever y Mould, 2000). La precisión de las estimaciones es dependiente de la calidad del conjunto de datos del colectivo de calibración; por tanto, se obtienen las mejores predicciones cuando se utilizan distintos conjuntos de muestras para cada tipo de forraje. Mientras que es relativamente trivial el desarrollo de calibraciones para composición química de alimentos y forrajes, que está al alcance de la mayoría de los laboratorios, la construcción y el mantenimiento de calibraciones para estimación de la digestibilidad *in vivo* están reservados a instituciones que tengan capacidad de producir las colecciones de muestras evaluadas *in vivo* con animales que se necesitan para obtener calibraciones fuertes y precisas mediante NIRS.

Recientemente finalizó un proyecto colaborativo de investigación (Feader 2013/22) llevado a cabo por el LIGAL y por el CIAM, en el cual la finalidad fue el incremento de la capacidad analítica del LIGAL. Uno de los objetivos del citado proyecto es la ampliación y la actualización de la calibración NIRS existente en el LIGAL para la determinación del valor energético del ensilado de maíz, que incrementa su robustez sin comprometer la exactitud y la precisión de las estimaciones. De esta forma, el laboratorio cuenta con la más amplia colección de muestras de ensilado de maíz existente en España, comparable a las de otros países de nuestro ámbito. A partir de la amplia colección de muestras con DMO *in vivo* conocida que dispone el CIAM se desarrollaron las ecuaciones de calibración NIRS para ensilado de maíz, las cuales fueron transferidas desde el CIAM hasta el LIGAL en el año 2003 y actualizadas en 2016, incorporando más muestras al colectivo de calibración. En la tabla 2 se muestra el poder predictivo de las estimaciones de DMO *in vivo* de ensilado de maíz disponibles en el CIAM-LIGAL, y se puede comprobar cómo la técnica NIRS sobrepasa de los demás métodos en cuanto a la calidad de las predicciones de la DMO *in vivo*.

Tabla 2. Comparación de la capacidad indicadora de los métodos de estimación de la DMO *in vivo* de ensilados de maíz actualizados y revisados en el proyecto colaborativo Feader 2013/22 entre el LIGAL y el CIAM titulado “Aplicaciones analíticas avanzadas para el análisis de forrajes (A3F)”, para ensilados de planta entera o de maíz

Modelos que tienen como predictores	Validación cruzada	
	R ² _{cv}	RSD _{cv}
Parámetros químicos		
FND	0,17	2,72
LAD	0,18	2,71
FAD	0,21	2,65
FAD, PB	0,24	2,73
LAD, PB	0,36	2,39
Métodos <i>in vitro</i>		
Digestibilidad pepsina-celulasa (DoPC)	0,19	2,69
Digestibilidad con líquido ruminal (DoTT)	0,48	2,15
Modelos mixtos		
DoTT, PB	0,51	2,08
Técnica NIRS	0,74	1,60

DMO: digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica (%); FND, FAD, LAD y PB expresados en % MS; R²: coeficiente de determinación; RSD: desviación estándar residual

LA VALORACIÓN ENERGÉTICA DE LOS FORRAJES POR MÉTODOS PRECISOS Y FIABLES SON CONDICIONES NECESARIAS PARA PODER OPTIMIZAR SU UTILIZACIÓN EN LAS EXPLOTACIONES DE VACUNO LECHERO

CONCLUSIONES

La caracterización energética de los forrajes producidos en las explotaciones de vacuno lechero por métodos precisos y fiables es condición necesaria para poder optimizar la utilización de forrajes en la explotación, a través de raciones equilibradas, de bajo coste y de reducido impacto ambiental.

La técnica NIRS proporciona la mayor exactitud relativa para la estimación del valor energético de los ensilados de maíz, comparada con los métodos de regresión con base en parámetros químicos y en las determinaciones *in vitro*. Las indudables ventajas operativas, la economía y la precisión de las estimaciones NIRS aconsejan su utilización en las rutinas de predicción. En cambio, la variabilidad en las condiciones del medio y las variedades forrajeras utilizadas en la práctica de las explotaciones aconsejan un trabajo continuado de renovación de las calibraciones NIRS a fin de afinar la capacidad predictiva y su utilidad en las prácticas de alimentación de las explotaciones.

Esta labor es abordada mediante el esfuerzo colaborativo del laboratorio de la interprofesión lechera y los centros públicos de investigación dependientes de la Consellería del Medio Rural en el contexto del convenio CIAM-LIGAL y vehiculado a través de iniciativas de cooperación como los proyectos financiados con fondos Feader del Programa de Desarrollo Rural de Galicia. ●

NOTA DE LOS AUTORES

La bibliografía citada en este trabajo está a disposición de los lectores mediante contacto con el primer autor.



CAIXA RURAL GALEGA

A nosa Caixa
www.caixaruralgalega.gal