



Aplicaciones analíticas avanzadas para la predicción del valor proteico del ensilado de hierba

Debido a la importancia de la caracterización proteica de los forrajes producidos en nuestras granjas, analizamos los métodos más convenientes que debemos aplicar para elaborar raciones ajustadas a las necesidades del ganado, que sean compatibles con la minimización del perjuicio al medio ambiente.

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)

CONTEXTO DEL SECTOR LECHERO GALLEGO

El sector de vacuno de leche es una actividad estratégica en Galicia tanto por el valor económico generado, directa e indirectamente, como por su contribución a la ocupación en el rural y a la vertebración del territorio. Estas actividades tienen especial relevancia en muchas zonas rurales, lo que las convierte en uno de los pilares del sostenimiento económico y demográfico de estas comarcas. Las explotaciones lecheras gallegas gestionan un tercio de la superficie

agrícola útil y generan el 42 % del valor añadido bruto del sector agrícola de la región (López-Iglesias, 2015). El complejo lácteo tiene un peso importante en la economía gallega, que representó en el año 2013 el 1,77 % del valor añadido bruto (VAB) de Galicia (Gómez-Méndez, 2016), del cual el 1,45 % corresponde al aporte del sector productor y el 0,31 % restante al de la industria transformadora, cifras que ilustran la debilidad del sector industrial lechero gallego en comparación a la producción.

La producción de leche se concentró progresivamente en un número más reducido de explotaciones y se vio incrementado el tamaño medio de las granjas por la acelerada desaparición de las de menor dimensión. El modelo productivo que se configuró en el sector lácteo gallego a lo largo de las últimas décadas estuvo muy condicionado por las limitaciones estructurales de la mayoría de las explotaciones: reducida superficie, fragmentación parcelaria y dificultades para incrementar la base territorial. En paralelo a la configuración de un modelo de producción dependiente de la compra de concentrados y materias primas fuera de la explotación y muy sensible a las variaciones de precios en los mercados exteriores, fueron ganando importancia los sistemas de intensificación forrajera de la SAU disponible, basados en el cultivo del maíz, como forma de paliar esta debilidad estructural. Fernández-Lorenzo *et al.* (2016) indican que en el periodo de 1996 a 2013 la proporción media de la SAU ocupada por cultivos forrajeros de las granjas se incrementó desde el 11 % al 27 %, pasando de un valor total de aproximadamente 45.000 ha en 1996 a 66.000 ha en 2013, mientras que la superficie total dedicada a la producción de hierba (praderas y prados) prácticamente se dividía a la mitad, desde las 342.000 ha hasta las 176.000 ha.

Uno de los principales activos del sector lechero gallego es la alta capacidad de producción de forrajes que

le confieren las condiciones agroclimáticas que poseen las zonas productoras de leche en Galicia. Sineiro *et al.* (2016) a partir de resultados de un estudio realizado en explotaciones de la cornisa cantábrica durante varios años, indica una elevada disparidad en la eficiencia productiva de las granjas, causada fundamentalmente por las diferencias en los costes de alimentación. Las explotaciones más eficientes, con un coste más bajo por litro de leche producida, son las que poseen una mayor disponibilidad de tierras, lo que las lleva a tener una mayor autosuficiencia en forrajes.

En un escenario de precios de la leche desregulados y altamente volátiles dependiendo de la situación del mercado mundial, así como precios de materias primas proteicas y fertilizantes sintéticos con tendencia claramente al alza, parece evidenciarse la necesidad de reorientar el actual modelo productivo del sector productor lácteo gallego hacia sistemas más ligados a la tierra, en los cuales la adecuada disponibilidad de SAU de las explotaciones y su aprovechamiento para la producción de forrajes de alta calidad es un elemento clave para su competitividad, toda vez que, con prácticas de manejo adecuadas, los forrajes producidos en las explotaciones constituyen la fuente de alimentos más barata para la producción de leche.

LA PREOCUPACIÓN POR EL SUMINISTRO DE MATERIAS PRIMAS PROTEICAS

En la UE existe una preocupación creciente acerca del déficit en materias primas proteicas que presenta su mercado interior. Únicamente un 3 % de la SAU se dedica a la producción de proteínas vegetales y las importaciones de estas materias primas suponen un 70 % de la demanda total para alimentación animal, que proceden fundamentalmente de cultivos realizados en Brasil, Argentina y EE. UU. con variedades OGM. En el año 2011, en Europa estas importaciones representaron el 14 % de la producción mundial de soja y se emplearon 15 millones de hectáreas de tierras de cultivo fuera de la Unión Europea (Bues *et al.*, 2013), evidenciando la existencia de un desacoplamiento entre la producción y las disponibilidades de la tierra en las explotaciones.

Recientemente, el Parlamento Europeo lanzó una propuesta (2017/2116-INI) alertando de la necesidad de una estrategia para promocionar el ►



Soluciones específicas para conservar sus ensilados



- Una respuesta técnica adaptada a su forraje,
- Su ensilado fresco y apetente mucho más tiempo,
- Su ensilado mejor conservado y valorizado.



A cada ensilado su solución Lalsil



LALLEMAND ANIMAL BIO, SL

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

www.lallemandanimalnutrition.com



► EL PERFIL PROTEICO DEL ENSILADO DE HIERBA SE COMPLEMENTA ADECUADAMENTE CON EL PERFIL ENERGÉTICO DEL ENSILADO DE MAÍZ PARA ELABORAR RACIONES EQUILIBRADAS Y ECONÓMICAS



cultivo de proteaginosas y leguminosas forrajeras en la agricultura de la Unión, dotada de las correspondientes herramientas económicas para estimular su adopción. En la propuesta se indica que no es deseable, desde un punto de vista económico y ambiental, alimentar a los rumiantes con soja importada desde ultramar a largas distancias, con fuertes impactos ambientales tanto a nivel local en los lugares de cultivo como global por el efecto en los procesos de cambio climático, por el cual el impulso al cultivo de especies proteicas no solo estaría justificado por los beneficios económicos para los agricultores y la industria agroalimentaria, sino por un amplio abanico de beneficios ambientales derivados de la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico de las plantas leguminosas, con la consiguiente reducción tanto de las emisiones de CO₂ derivadas de la producción de fertilizantes nitrogenados sintéticos, altamente demandante de energía, como de la formación de óxidos de nitrógeno y su emisión a la atmósfera, así como de la mejora de la calidad de las aguas y del suelo y de la protección de la biodiversidad. La promoción del cultivo de estas espe-

cies, que incluyen los pastos con leguminosas, como parte de las rotaciones agrícolas, puede ser una poderosa herramienta en la transición a sistemas agroalimentarios más sostenibles y ser la base de un cambio desde monocultivos de especies que requieren fuertes *inputs* de fertilizantes nitrogenados y fitosanitarios, con fuerte impacto ambiental, hacia sistemas “agrodiversos”, con una mayor protección de la volatilidad de los precios de mercado de las materias primas alimentarias y altamente favorables al mantenimiento del medio ambiente.

Una consecuencia del desacoplamiento de las explotaciones ganaderas con la tierra es la falta de relación entre las emisiones totales de gases de efecto invernadero y las tierras utilizadas para la producción de forrajes en la explotación. A este respecto, Del Prado *et al.* (2013) indican, en un reciente estudio en el que utilizaron el análisis de ciclo de vida en explotaciones lecheras de Euskadi, que las emisiones totales oscilaron entre 0,86 y 2,1 kg de CO₂-eq por litro de leche, y se correlacionaron positivamente con el total de concentrados comprados fuera de la explotación.

IMPORTANCIA DEL ENSILADO DE HIERBA EN LAS EXPLOTACIONES DE LECHE

Las explotaciones de vacuno de leche gallegas dependen habitualmente del ensilado durante un periodo anual de 4 a más de 6 meses, observándose en los últimos años una dependencia creciente de los ensilados en detrimento del empleo de forrajes verdes para la alimentación del ganado. Muestra de esto es el incremento del número de explotaciones, generalmente las de mayor dimensión, que practican el sistema de “todo ensilado” combinado con la utilización de carros mezcladores *unifeed* para la elaboración de raciones completas (forrajes + concentrados).

Una estimación de la importancia del uso de ensilado de hierba en las raciones de las vacas de leche de la denominada “España húmeda” la podemos encontrar en el informe *Encuesta sobre estructura y sistemas de alimentación de las explotaciones lecheras de Galicia, cornisa cantábrica y Navarra*, 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 *et al.*, 2017). ►►

► EL CONOCIMIENTO PRECISO DE LA COMPOSICIÓN DE LOS ALIMENTOS PARA EL GANADO ES UNA CONDICIÓN NECESARIA PARA SU UTILIZACIÓN EFICIENTE EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL

En él se indica que el 95,2 % de las explotaciones lecheras ensilan hierba, en una superficie de 181,2 mil ha, con una media de 10,9 ha de hierba ensilada por explotación, lo que representaría aproximadamente el 73 % de la superficie de hierba disponible en la granja. La importancia del ensilado de hierba en la ración disminuye con el tamaño de explotación, por lo que las de menor dimensión son más dependientes de este forraje. Por otra parte, los resultados del citado trabajo permiten estimar que, de las 3,8 M toneladas de leche total producida en la zona norte, aproximadamente 1,7 M proceden de explotaciones que utilizan típicamente dietas basadas en ensilado de hierba como principal ingrediente forrajero, lo que representa el 44 % de la leche total, cifra que, en el caso de Galicia, ascendería al 48 % de la leche. Según dicho trabajo, la rotación forrajera intensiva más empleada en las explotaciones lecheras gallegas (52,6 % del total) es la formada por el maíz como cultivo de verano, y el raigrás italiano como cultivo de invierno. Otras rotaciones menos frecuentes son maíz/pradera (25,1 %), maíz/maíz (19,1 %), maíz/cereal de invierno (6,3 %) y maíz/otros cultivos (5,4 %). Hay que destacar que más de un tercio de las explotaciones indican que dejan siempre o en ocasiones las tierras del maíz sin cultivar durante el invierno, práctica agronómica desaconsejada desde el punto de vista medioambiental, pues provoca, entre otros efectos negativos, mayores pérdidas de nitrógeno por lixiviación (Báez *et al.*, 2000).

Como se evidencia en trabajos realizados en el CIAM, la productividad del sistema maíz-raigrás en los secanos de

la zona atlántica gallega es muy elevada, en el entorno de las 18-20 toneladas de materia seca (MS) por hectárea y año, de las cuales corresponde un 70 % al cultivo del maíz y el resto al raigrás italiano. Esta rotación presenta un alto contenido en energía (1,5-1,6 Mcal de energía neta leche por kg de MS), adecuado para la alimentación de las vacas de leche, pero tanto el maíz como el raigrás italiano presentan un bajo contenido en proteína, frecuentemente por debajo del 7 % MS, lo que obliga a utilizar una alta proporción de materias primas proteicas en los concentrados para equilibrar las raciones. El encarecimiento del coste de producción y la necesidad de reducir el impacto ambiental de las actividades agroganaderas ha motivado que en los últimos años se haya dirigido una parte considerable del esfuerzo de investigación en el entorno del CIAM-LIGAL a la introducción del cultivo de especies leguminosas en los sistemas forrajeros de las explotaciones, tanto en cultivos anuales como en las praderas plurianuales, atendiendo a aspectos relativos a la agronomía, determinación de su valor nutricional, ensilabilidad y desarrollo de calibraciones NIRS para la adecuada estimación del valor energético y proteico a fin de optimizar su encaje en las raciones de las vacas lecheras. Resultados de varias campañas de ensayos, que incluían estudios de producción con vacas de leche alimentadas con diversos tipos de ensilados, mostraron que la inclusión de diversas mezclas de leguminosas anuales en el cultivo de invierno, en comparación con el raigrás italiano, mejora en un 30 % el rendimiento total de proteína bruta por ha de la rotación con maíz sin disminuir la productividad de MS y de energía neta de leche, a lo cual habría que añadir las ventajas económicas y ambientales de la reducción del coste de la fertilización nitrogenada y del contenido proteico en el concentrado.

VALOR PROTEICO DEL ENSILADO DE HIERBA

Desde el punto de vista nutritivo, el ensilado de hierba destaca por ser un alimento de valor proteico medio-alto y de un moderado contenido energético. Los valores medios de materia seca (MS), proteína bruta (PB) y digestibilidad de la materia orgánica (DMO) de las muestras recibidas en el Ligal para

su análisis en los últimos 13 años fueron MS: 32,9 %; PB: 12,7 % MS y DMO: 63,2 %. El perfil proteico del ensilado de hierba, en particular de trébol o de otras leguminosas forrajeras, se complementa adecuadamente con el perfil energético del ensilado de maíz, para elaborar raciones equilibradas y económicas para el ganado lechero. Los ensayos de alimentación realizados con vacas lecheras en el CIAM evidencian la potencialidad de las raciones forrajeras con base en ensilados de hierba y de maíz para producir leche con uso reducido de concentrados (<200 g de pienso/litro).

La observación de las series temporales de valor nutricional de las muestras de ensilados de hierba procedentes de las explotaciones lecheras recibidas en el laboratorio de la interprofesión muestran que mientras que los valores de DMO se mantienen relativamente constantes a lo largo del tiempo, el contenido de PB tiende a descender ligeramente. Una posible explicación al descenso de PB combinado con valores de pH más bajos de las muestras de ensilados analizados sería la presencia de cada vez mayor número de muestras de ensilado procedentes de siembras monofitas de raigrás italiano, habituales en las explotaciones de mayor dimensión, y un paralelo descenso del número de muestras de ensilados procedentes de praderas mixtas con leguminosas, más habituales en explotaciones de menor tamaño. La importancia de la rotación raigrás italiano/maíz aumenta con el tamaño de explotación y menos del 2 % de las granjas que cultivan maíz en rotación incluye una leguminosa en la misma. En un estudio realizado en el CIAM por Flores *et al.* (2014) en el cual se evaluó el efecto de la variedad y la fecha de aprovechamiento en primavera sobre la producción y el valor nutricional de diversas variedades de raigrás italiano y híbrido con aportes moderados de nitrógeno (100 kg N/ha), los contenidos en PB, de media, en el primer ciclo fueron de 7,5 y 6,5 % MS, en un aprovechamiento realizado el 17 de abril y el 2 de mayo, respectivamente. En un manejo de 2 cortes realizados en una cosecha temprana (6 de marzo y 17 de abril) y tardía (20 de marzo y 20 de mayo y 2 mayo), los valores medios de ambos aprovechamientos fueron de 12,5 y 11,2 % MS, respectivamente (Flores *et al.*, 2014). ►

El retraso del primer corte más allá de finales de abril no es recomendable debido a la importante caída de calidad de la planta de raigrás que se produce a partir del espigado y que se manifiesta, sobre todo, por los bajos valores de proteína bruta.

El avance en el conocimiento de los procesos digestivos y metabólicos de la proteína ingerida por los rumiantes fue determinante para que se pasase de formular raciones con base en el contenido en proteína bruta de los alimentos a considerar su contenido en proteína metabolizable, lo que exige tener en cuenta el balance entre energía y proteína de cada ingrediente. Los sistemas actuales de formulación de alimentos para rumiantes utilizan esta estimación del valor proteico como base fundamental de la valoración de los aportes de los alimentos y de las necesidades del animal (NRC, 2001; INRA 2007). La proteína metabolizable, en síntesis, se define como la proteína absorbida en el intestino, siendo la suma de los aportes de la proteína microbiana sintetizada en el rumen, y de la ingerida en el alimento y no degradada en el rumen una vez considerada su correspondiente digestibilidad intestinal. El flujo de proteína microbiana depende de la disponibilidad de energía fermentable en el rumen y de su eficacia de utilización, mientras que la disponibilidad de proteína alimentaria en el intestino delgado depende de su degradabilidad ruminal, y de su digestibilidad intestinal.

Los ensilados de hierba contienen habitualmente un alto contenido en PB, en particular los abonados fuertemente con adobos nitrogenados y los que incluyen leguminosas forrajeras, pero una alta proporción del N es rápidamente degradable. El efecto característico del proceso de ensilado, comparado con la composición del forraje original, es la disminución de los azúcares debido a la fermentación y el aumento del N no proteico (NPN) a causa de los procesos proteolíticos que tienen lugar durante la fermentación en el silo (McDonald *et al.*, 1991). La intensidad de la proteólisis que acontece desde la siega del forraje hasta la apertura y consumo del silo está determinada por diversos factores, tales como las especies forrajeras, las prácticas agronómicas, el estado fenológico y la tecnología del ensilado empleada.

► LA NECESIDAD DE DISPONER DE MÉTODOS INDIRECTOS PARA ESTIMAR EL VALOR PROTEICO DE LOS FORRAJES SURGE DE LA IMPOSIBILIDAD DE UTILIZAR LAS DETERMINACIONES *IN SITU* COMO RUTINA DE ANÁLISIS A CAUSA DE LAS OBVIAS LIMITACIONES DE COSTE, TIEMPO Y MANO DE OBRA

La calidad de conservación de los ensilados condiciona a la vez el valor nitrogenado del forraje y la cantidad ingerida por el ganado. El empleo de una técnica de ensilado correcta es fundamental para asegurar una buena calidad de conservación. La proteólisis enzimática, que tiene lugar inmediatamente tras la siega del forraje, va disminuyendo al mismo tiempo que el pH y se detiene en el umbral del pH 4,0 (Demarquilly, 1986). Su importancia nutricional reside en el hecho de que un exceso de N soluble provocará que haya un exceso de amoníaco en el rumen en relación a la energía disponible para el crecimiento de la microbiota ruminal, implicando una alta excreción de N, principalmente a través de la orina, con un potencial efecto negativo sobre el medio ambiente.

LA NECESIDAD DEL CONOCIMIENTO DEL VALOR NUTRICIONAL DE LOS FORRAJES

El avance de los conocimientos científicos sobre la fermentación ruminal obligó a cambios importantes en la formulación de raciones para vacas de leche. 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.

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 económicas y equilibradas. Para aprovechar las capacidades de los programas informáticos complejos desentrelazados en los últimos años para el cálculo de raciones para el ganado vacuno, empleadas por la mayoría de los nutricionistas, 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 la alta variabilidad en comparación con los concentrados y referido, fundamentalmente, a su contenido energético y proteico. La evaluación nutritiva de los forrajes presenta especial relevancia debido a la elevada variabilidad de su valor nutritivo y la alta contribución al total de la materia seca de la ración en comparación con el concentrado. Para el aprovechamiento de estas capacidades es necesario disponer de un sistema avanzado de valoración nutricional, que informe con precisión de la digestibilidad de la materia orgánica (DMO), del contenido en proteína bruta (N total x 6,25) y de las características de la degradabilidad ruminal del N (DegN).

El valor nutritivo de los forrajes varía fundamentalmente debido a factores relacionados con su genotipo, al estado fisiológico y a factores de medio y, en 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. ►►

MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DEL VALOR PROTEICO DE LOS FORRAJES Y TECNOLOGÍA NIRS

La cuantificación de la degradabilidad de la proteína de los alimentos en el rumen es un punto crítico en los sistemas de valoración nutritiva para rumiantes, ya que este valor condiciona la síntesis de proteína microbiana y determina la fracción de proteína del alimento no degradada que escapa de la fermentación en el rumen. El método de referencia para determinar la degradabilidad ruminal es la técnica denominada *in situ* o *in sacco*. Se trata de una técnica laboriosa, larga y costosa, que exige disponer de animales canulados en el rumen, razón por la cual esta técnica, a mayores de otros usos experimentales, solo se utiliza para formar colecciones de muestras de referencia a partir de las cuales se desarrollarán los métodos indirectos de predicción de la degradabilidad del nitrógeno de la ración. El método consiste en colocar el alimento a valorar en sucesivas series de bolsas de material sintético y poroso, resistente a la acción de las enzimas microbianas del rumen, que son introducidas en la fase líquida de la digesta y retiradas a diferentes tiempos de incubación, siendo posteriormente determinada, mediante el oportuno análisis de la composición de los residuos de las incubaciones, la proporción de N no degradado durante estas, lo que permitirá elaborar las curvas de degradación y la elaboración de los índices requeridos por los programas de racionamiento.

La necesidad de disponer de métodos indirectos para estimar el valor proteico de los forrajes surge de la imposibilidad de utilizar las determinaciones *in situ* 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 proteico 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 y el valor proteico y la tecnología de espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo próximo (NIRS).

De entre las distintas técnicas indirectas para la predicción de la composición y el valor nutricional de forrajes goza de una relevancia cada vez más importante la técnica NIRS. Al desa-

▶ LA TÉCNICA NIRS ES UNA HERRAMIENTA ÚTIL Y APROPIADA QUE PROPORCIONA UNA EXCELENTE EXACTITUD PARA LA ESTIMACIÓN DIRECTA DE LA DEGRADABILIDAD RUMINAL DEL NITRÓGENO DE LOS ENSILADOS DE HIERBA

rollar una calibración NIRS, la información espectral se relaciona mediante un algoritmo con la información del valor nutricional determinado 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 comparativamente a un bajo coste. Además, esta técnica es especialmente adecuada para el procesamiento 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 con valores 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 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, obteniéndose las mejores predicciones cuando se utilizan diferentes conjuntos de muestras para cada tipo de forraje. Mientras que es relativamente trivial el desarrollo de calibraciones para composición química de alimentos y forrajes, estando al alcance de la mayoría de los laboratorios, las posibilidades de construcción y mantenimiento de calibraciones para la estimación de la degradabilidad del N están limitadas a instituciones que tengan capacidad de producir las colecciones de muestras de referencia, necesarias para obtener calibraciones fuertes y precisas mediante NIRS. Existen numerosos trabajos que indican que la técnica NIRS muestra una utilidad satisfactoria en la estimación de la degradabilidad del N de forrajes conservados (Todorov *et al.*, 1994; De la Roza *et al.*, 1998; Dorshorst *et al.*, 2000; Swift, 2003; De Boever *et al.*, 2003; Ohlsson *et al.*, 2007; Foskolos *et al.*, 2015). ▶▶

Tabla 1. Composición química media, desviación estándar y rango de variación de las muestras de ensilados de hierba del grupo de calibración

	MO	FND	FAD	PB	DegN
Media	89,3	55,9	37,5	11,7	66,4
SD	2,7	8,0	5,9	3,3	11,2
Mínimo	84,6	40,1	25,9	5,6	35,3
Máximo	95,9	76,8	54,9	20,0	90,1

MO: materia orgánica (% MS); FND: fibra neutro detergente (% MS); FAD: fibra ácido detergente (% MS); PB: proteína bruta (% MS); DegN: degradabilidad ruminal *in situ* del nitrógeno (%)

OBTENCIÓN DE VALORES DE REFERENCIA PARA LA DEGRADABILIDAD RUMINAL *IN SITU* DEL NITRÓGENO (DEGN) EN ENSILADOS DE HIERBA PARA EL DESARROLLO DE PREDICCIONES MEDIANTE NIRS

Un proyecto colaborativo de investigación (Feader 2013/22) llevado a cabo por el LIGAL y el CIAM permitió incrementar la capacidad analítica del primero mediante la creación de una calibración NIRS que permite la estimación directa de la degradabilidad del N de ensilados de hierba. El citado proyecto permitió dotar, por primera vez en España, a un laboratorio de servicios de calibraciones para la estimación directa de la degradabilidad de la proteína de ensilados de hierba, mejorando así sustancialmente la información disponible a la hora de elaborar raciones más ajustadas a las necesidades del ganado de forma compatible con la minimización de las excretas nitrogenadas al medio ambiente.

La obtención de la nueva calibración NIRS para la predicción de la DegN de ensilados de hierba se elaboró a partir de una amplia colección de más de 70 muestras, que fueron seleccionadas de entre los ensilados de hierba procedentes de explotaciones ganaderas recibidas en el Ligal durante varios años para su análisis. La determinación se realizó mediante la técnica *in situ* estandarizada en el CIAM (Flores *et al.*, 2001 y Flores *et al.*, 2003). Las muestras secas y molidas a 3 mm fueron incubadas en bolsas de nailon (ANKOM®, tamaño de poro 50±15 µm), con una cantidad media de 14,7 mg de muestra por cm² de bolsa y tiempos de incubación de 0, 4, 8, 16, 24, 48, 72 y 96 horas, en el rumen de cinco vacas frisonas secas. Las bolsas correspondientes a las horas 16 a 96 se incubaron por duplicado. Una vez transcurrido el tiempo fijado de incubación, las bolsas se sumergían en agua con hielo durante 10 minutos y posteriormente lavadas.

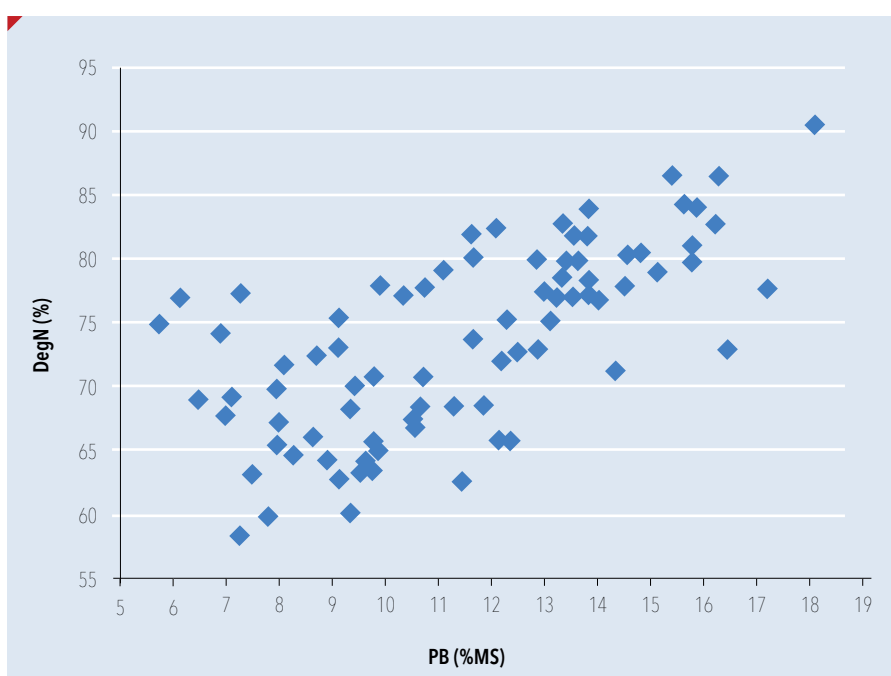
Utilizando procedimientos de regresión no lineal (PROC NLIN, SAS Institute), se realizó el ajuste de los datos del porcentaje de desaparición (P) del N, siguiendo el modelo $P=A+B(1-e^{-Ct})$ de Orskov y McDonald (1979). Se obtuvieron los parámetros representativos de la fracción rápidamente degradable (A), lentamente degradable (B) y la velocidad de degradación en el rumen (C) para cada muestra. Posteriormente se calculó para una tasa de

Tabla 2. Valor nutricional y calidad fermentativa media y rango de variación de las muestras de ensilados de hierba muestreados en las visitas a las explotaciones

	MS	MO	PB	FAD	FND	DMO	DegN	pH	LACT	ACET	N-NH ₃	Nsol
Media	34,0	91,0	11,3	35,3	53,2	68,0	73,4	4,08	6,69	2,02	6,78	47,6
SD	11,9	2,0	3,1	4,9	7,9	6,7	7,4	0,42	3,94	0,84	3,59	9,9
Mínimo	17,8	84,1	4,9	26,7	39,2	50,9	58,2	3,09	0,33	0,00	0,05	22,6
Máximo	69,2	95,0	18,1	46,8	72,3	78,9	90,5	4,99	14,45	3,91	21,82	66,4

MS: materia seca (%); MO: materia orgánica (% MS); PB: proteína bruta (% MS); FAD: fibra ácido detergente (% MS); FND: fibra neutro detergente (% MS); DMO: digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica (%); DegN: degradabilidad ruminal *in situ* del nitrógeno (%); LACT: ácido láctico (% MS); ACET: ácido acético (% MS); N-NH₃: nitrógeno amoniacal (% nitrógeno total); Nsol: nitrógeno soluble (% nitrógeno total)

Figura 1. Relación entre la degradabilidad ruminal del nitrógeno (DegN) y el contenido en proteína bruta (PB) de una muestra de ensilados de hierba de explotaciones lecheras gallegas

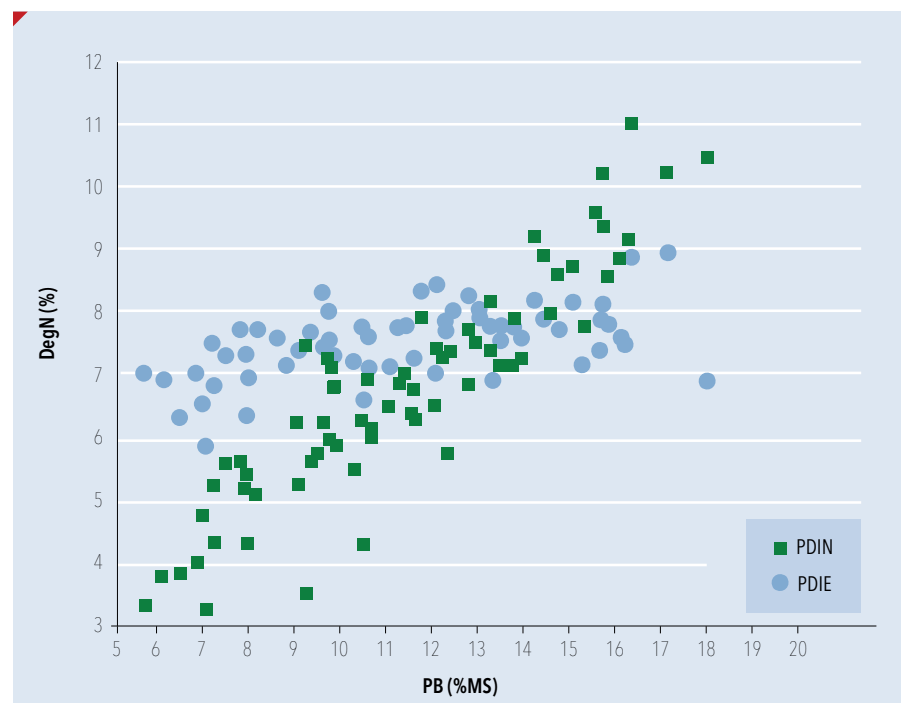


riormente se calculó para una tasa de paso $k=0,06h^{-1}$ la DegN (DT) según la expresión $DT=A+(BC/(C+k))$. Para cada muestra fueron promediados los valores correspondientes a las cinco vacas.

En la tabla 1 se muestran los valores medios, desviación estándar y rango de los diferentes parámetros de la composición química y degradabilidad *in situ* del nitrógeno para el total de muestras de ensilados de hierba (n=70) seleccionadas para formar el colectivo de calibración. Hay que destacar que los rangos para los parámetros descriptivos de la composición química son bastante amplios y representan la población de muestras objeto de la predicción, aspectos clave para la obtención de modelos de predicción precisos y fuertes.

El coeficiente de determinación en el proceso de validación cruzada (r^2) ofrece información acerca de la calidad de la calibración obtenida. Shenk y Westerhaus (1996) indican que las ecuaciones NIRS con valores de $r^2 \geq 0,90$ poseen una precisión excelente. Siguiendo este criterio, la capacidad predictiva de la calibración desenvuelta para estimar la DegN en ensilado de hierba sería excelente ($r^2=0,91$). El estadístico RER establece la relación entre el rango de los datos de referencia y el error estándar de la validación cruzada, el valor de este índice fue de 16,6, superando el valor mínimo de 10, sugerido por Williams y Sobering, (1996), como indicador de la utilidad de la calibración obtenida.

Figura 2. Contenido en proteína digestible en el intestino (PDIN, PDIE) en una muestra de ensilados de hierba de explotaciones gallegas



Recientemente finalizó un proyecto colaborativo de investigación (Feader 2016 59 B) entre el CIAM y el LIGAL, en el que se realizó en una muestra de explotaciones lecheras con diferente grado de intensificación, representativa de los diferentes modelos productivos de Galicia, una encuesta sobre diferentes aspectos, entre los cuales se realizaba la caracterización de los ingredientes que componían las raciones ofrecidas al ganado. En la tabla 2 se muestra la composición química, digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica, DegN y calidad fermentativa de todos los ensilados de hierba (n=82) muestreados en las explotaciones visitadas. Los rangos para todos los parámetros determinados fueron muy amplios y representan la elevada variabilidad de este forraje en las explotaciones gallegas.

En la figura 1 se representa la relación entre el contenido en PB y la DegN de los ensilados de hierba muestreados en el citado proyecto. En ella se puede observar como, para el mismo valor de proteína bruta de una muestra, la degradabilidad del N medida *in situ* puede oscilar en casi 20 unidades e, inversamente, para un valor dado de degradabilidad del N, la concentración de proteína en las muestras puede oscilar entre el 6 y el 17 % MS.

En la figura 2 se muestra la variabilidad de los valores de proteína digestible en el intestino (PDIN, PDIE) del citado grupo de ensilados de hierba. Los valores medios y el rango de variación de PDIN y PDIE, con valores medios y rango de variación de 6,78 % MS (2,17-11,15 % MS) y 7,59 % MS (5,36-9,08 % MS), respectivamente, ilustran la elevada variabilidad ya citada, que evidencia la elevada relevancia de disponer de métodos que permitan una estimación precisa del valor proteico de los forrajes.

Es relativamente habitual encontrar referencias de laboratorios que estiman el valor proteico de los forrajes a partir del contenido en PB y aplicando a este parámetro una ecuación de regresión para obtener el valor de DegN, lo que lleva implícito asumir la constancia de la degradabilidad ruminal de la proteína para un determinado forraje. Esto puede con frecuencia conllevar un abultado error de estimación, con la consecuente imprecisión a la hora de confeccionar la ración para la alimentación de las vacas de leche. Debemos tener en cuenta que, si bien el uso de valores tabulados para un determinado forraje parece el método más fácil del que obtener información, hay que tener en cuenta que el valor energético y proteico de los forrajes, incluso de una especie determinada

recogida en un estado fisiológico concreto, puede ser muy diferente dependiendo del suelo, del clima, de los cuidados culturales y del tratamiento poscosecha. Por tanto, la utilidad de los valores tabulados, incluso si estuviesen generados en iguales condiciones ambientales de la zona donde se pretenden aplicar, se limita a ofrecer una valiosa información acerca de los valores medios, siendo de dudosa utilidad para la formulación de raciones con ingredientes de composición variable como son los forrajes y que no puede sustituir a la necesidad de analizar las muestras.

CONCLUSIONES

- La caracterización proteica de los forrajes producidos en las explotaciones de vacuno lechero por métodos precisos y fiables son condiciones necesarias para poder optimizar la utilización de forrajes en la explotación, a través de la elaboración de raciones más ajustadas a las necesidades del ganado de forma compatible con la minimización de las excretas nitrogenadas al medio ambiente.
- La técnica NIRS es una herramienta útil y apropiada que proporciona una excelente exactitud para la estimación directa de la degradabilidad ruminal del nitrógeno de los ensilados de hierba. Las indudables ventajas operativas, economía y precisión de las estimaciones NIRS aconsejan su utilización en las rutinas de predicción. Sin embargo, la variabilidad en las condiciones de medio y de las variedades forrajeras utilizadas en la práctica de las explotaciones aconsejan una labor continuada de renovación de las calibraciones NIRS con el fin de mantener 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 la primera autora: soniapereira@ciam.gal