

## ANÁLISIS DEL MAÍZ FORRAJERO POR NIRS. VARIACIONES EN LA PREDICCIÓN SEGÚN TRATAMIENTO MATEMÁTICO DE LOS DATOS ESPECTRALES.

B. de la ROZA, A. MARTÍNEZ, O. FERNÁNDEZ, B. SANTOS y S. MODROÑO.

Centro de Investigación Aplicada y Tecnología Agroalimentaria (CIATA)

Apartado. 13. 33300 Villaviciosa. Asturias (España)

### RESUMEN

Con objeto de determinar la calidad y valor nutritivo de diferentes variedades de maíz forrajero, con una analítica rápida, precisa y económica, se ha estudiado el efecto del pretratamiento de los datos espectrales (ninguno, SNVD y WMSC) y derivadas (0, 1, 2 y 3) sobre los errores estándar de los modelos predictivos en el infrarrojo cercano. Para los constituyentes seleccionados (materia seca residual (MS), cenizas (CEN), proteína bruta (PB), fibra neutro detergente (FND), digestibilidad enzimática de la materia orgánica (DEMO) y almidón (AL) no es posible generalizar las condiciones óptimas para la obtención de una ecuación de regresión que minimice los errores.

En este estudio se recogieron los espectros para el desarrollo de las calibraciones en un equipo 5000 NIRSystems con rango de lectura entre 1100 y 2500 nm.

Los mayores coeficientes de determinación para validación cruzada (1-VR) en MS, PB y FND (0, 92; 0, 85 y 0, 91 respectivamente) y los menores errores estándar de validación cruzada (SECV) (0, 51; 0, 34 y 1, 46 respectivamente) se obtuvieron con WMSC como pretratamiento espectral y segunda derivada. Para DEMO, segunda derivada sin pretratamiento con 1-VR=0, 91 y SECV=1, 39. En el caso de AL los mejores estadísticos, 1-VR=0, 90 y SECV=1, 78 se consiguieron aplicando SNVD y también segunda derivada. Primera derivada sólo resultó como mejor opción en CEN con WMSC como pretratamiento de los datos espectrales.

**Palabras clave:** Reflectancia en el infrarrojo cercano, valor nutritivo, digestibilidad enzimática, maíz forrajero.

### INTRODUCCIÓN

A mediados del siglo XIX, se desarrolló en la estación experimental de Weende (Alemania) un esquema de análisis para determinar la calidad de los forrajes que permanece

aún vigente a las puertas del siglo XXI. Estos procesos analíticos tradicionales, así como los avances posteriores en busca de parámetros químicos o biológicos que permitan predecir la respuesta animal (Van Soest, 1963a, 1963b, 1967 y digestibilidades *in vitro* y enzimática), presentan el inconveniente de su laboriosidad, elevado coste, producción de residuos y modesta capacidad predictiva. Debido a esto, la introducción de la reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) para el estudio y valoración nutritiva de los forrajes (Norris *et al.*, 1976) supuso un gran avance por su rapidez, porque se evita la destrucción del material a analizar y además no genera contaminación medioambiental por no utilizar reactivos químicos. En España, García Criado *et al.* (1977, 1978 y otros) fueron los primeros investigadores que aplicaron esta técnica para la determinación de diversas fracciones químicas, usadas como índices de calidad en la valoración de los forrajes.

Todo racionamiento requiere el conocimiento previo de las necesidades de los animales y el valor nutritivo de los alimentos que componen la ración. Es por tanto conveniente disponer de una técnica analítica simple, rápida, económica, no destructiva y no contaminante para la evaluación de los alimentos cuya finalidad sea proporcionar un servicio analítico y de asesoramiento a cooperativas, asociaciones y ganaderos.

En la Cornisa Cantábrica, donde la superficie de las explotaciones es generalmente el factor que más limita la producción, el maíz forrajero es una de las principales alternativas debido a la elevada cantidad de materia seca por hectárea que aporta frente a otros forrajes (Moreno, 1982) y a su elevado valor energético, dado su alto contenido en carbohidratos de reserva, fundamentalmente almidón, que además es degradado en el rumen más lentamente que el procedente de otros cereales (Herrera-Saldana *et al.*, 1990).

En orden a paliar los problemas anteriormente reseñados, el principal objetivo de este trabajo ha sido contribuir a la estimación de la calidad de un importante recurso forrajero de la España húmeda, como es el maíz forrajero, mediante la utilización de la tecnología NIRS.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Características de la población

Para este estudio se utilizó una colección de 124 muestras de maíz forrajero pertenecientes a 30 variedades con ciclos de maduración variable, corto, medio y largo. Las muestras fueron recolectadas durante los años 94 y 95 en 8 localidades distribuidas por toda la geografía asturiana y con diferente estado de maduración del grano: lechoso, pastoso y vítreo. Cada muestra consistió en la recolección aleatoria de 10 plantas que fueron picadas a 1 cm y homogenizadas. Posteriormente fueron secadas por duplicado a 102 °C du-

rante 24 h para la determinación de materia seca y a 60°C durante 24 h para su posterior molienda a 0,75 mm y análisis por vía húmeda y NIRS.

### Determinaciones analíticas

Todas las muestras fueron analizadas por duplicado para materia seca (MS) y cenizas (CEN) (Van der Meer, 1983) en un analizador termogravimétrico MAC-500 de LECO Inst.; proteína bruta (PB) por método Kjeldhal (Nx6, 25) (TECATOR, 1995); fibra neutro detergente con amilasa (FND) (Van Soest et al., 1991); digestibilidad enzimática de la materia orgánica (DEMO) según método FND-celulosa (Riveros y Argamentería, 1987) y almidón (AL) por reducción con amiloglucosidasa (Salomonsson et al., 1984).

La población representó un amplio rango en cuanto a la composición químico-bromatológica (Tabla 1), siendo responsables de tal variabilidad las diferentes variedades, años, estados de madurez y localizaciones de muestreo.

TABLA 1  
Composición química de la población  
*Chemical composition of the population.*

Constituyente	Media	Rango	DE
MS, %	93,12	88,74-97,16	1,83
CEN, %*	4,59	2,84-6,40	0,66
PB, %*	8,95	6,74-11,03	0,87
FND, %*	44,73	34,29-62,70	4,93
AL, %*	25,08	1,75-39,94	5,59
DEMO, %	68,50	52,40-77,61	4,60

MS - Materia seca residual en muestra desecada a 60°C; CEN - Cenizas; PB - Proteína bruta; FND - Fibra neutro detergente; AL - Almidón; DEMO - Digestibilidad enzimática de la materia orgánica, DE - Desviación estándar de la población; \* - Porcentajes referidos a materia seca

### Datos espectrales

Los espectros de las muestras fueron recogidos por duplicado como  $\log 1/R$ , siendo R la medida de reflectancia, en un equipo 5000 NIRSystems, provisto de monocromador de barrido continuo, con rango de lectura entre 1100-2500 nm.

Los espectros de cada muestra fueron promediados y tratados matemáticamente con el paquete estadístico ISI-NIRS3-Ver 3.10 (Shenk y Westerhaus, 1992).

### **Pretratamiento de los datos espectrales**

Los espectros en el infrarrojo cercano pueden estar afectados por el tamaño de partícula, la presión en el empaquetamiento, efectos de dispersión, variaciones en el paso de luz, etc., que pueden distorsionar la relación entre el espectro NIR y los valores de referencia. Para minimizar estos efectos, se pueden aplicar transformaciones matemáticas a los datos espectrales que generalmente mejoran la calibración.

En el presente trabajo se han utilizado los pretratamientos "Standard normal variate and detrend" (SNVD) (Barnes et al., 1989) y "Weighted multiplicative scatter correction" (WMSC) (Shenk y Westerhaus, 1992, 1993).

El SNVD es una combinación de "Standard normal variate" (SNV) y "De-trend" (DT).

SNV es la transformación matemática de los espectros en  $\log 1/R$  cuya finalidad es reducir el efecto del tamaño de partícula y la dispersión, y consiste en restar a cada valor original de absorbancia la media del espectro y dividir este resultado por la desviación típica del mismo.

DT es la aplicación de una función polinómica de segundo grado sobre los valores de reflectancia en  $\log 1/R$ , para eliminar la curvatura lineal y cuadrática de cada espectro debidas a las diferentes presiones de empaquetamiento.

WMSC es una regresión lineal simple entre los valores espectrales de cada muestra, cuyas absorbancias son valoradas de acuerdo a su desviación estándar, y el espectro promedio. A cada valor del  $\log 1/R$  se le resta la constante de intersección y se le divide por la pendiente de la recta de regresión estimada. Su finalidad es reducir o eliminar las diferencias en dispersión de luz entre las muestras antes de efectuar la calibración.

### **Ecuaciones de calibración**

Las calibraciones fueron desarrolladas utilizando regresión mínima cuadrática modificada (MPLS) (Shenk y Westerhaus, 1993), habiendo eliminado previamente las muestras atípicas utilizando para ello la distancia de Mahalanobis (estadístico H).

Este modelo de regresión incluye validaciones cruzadas para prevenir el sobreajuste. Divide el conjunto de muestras de calibración en varios grupos de validación cruzada (cinco en este caso). Las ecuaciones MPLS que incluyen de uno a 12 términos, se computaron con cuatro quintos de las muestras y los errores de validación se obtuvieron con el último grupo. Este procedimiento es repetido cinco veces, hasta que cada muestra haya si-

do predicha una vez y los errores de predicción se combinan con los errores estándar de la validación cruzada (SECV) (Shenk y Westerhaus, 1993).

Las ecuaciones de calibración fueron optimizadas aplicando diferentes tratamientos matemáticos a los espectros recogidos como log 1/R y cambiando las longitudes de los segmentos sobre los que se hace la derivada y el espaciado intersegmentos, expresados en ambos casos en “data points” o puntos espectrales (2nm = 1 data point). También fue testado el SNVD como pretratamiento matemático en todos los casos (Figura 1).

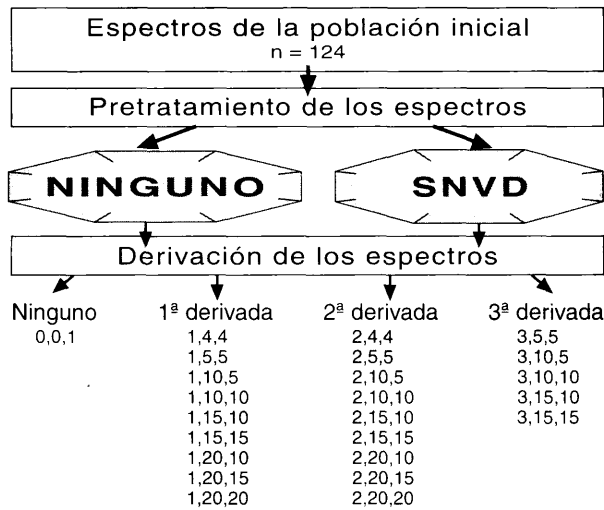


FIGURA 1

**Tratamientos matemáticos de los espectros. (derivada, segmento y espacio intersegmento)**

*Mathematical treatments (derivative, segment and gap)*

En este trabajo se desarrolló una secuencia automática del paquete estadístico para cada uno de los constituyentes expresados en % sobre muestra natural y sobre materia seca. Un total de 480 calibraciones fueron probadas y comparadas, lo que supuso más de 150 horas de trabajo de un ordenador 486.

Posteriormente se seleccionaron las mejores ecuaciones por constituyente, en base a los siguientes estadísticos: menor error estándar de validación cruzada (SECV), mayor coeficiente de determinación de la validación (1-VR), mayor coeficiente de determinación de la calibración (R<sup>2</sup>C) y menor error estándar de calibración (SEC). En la mejor opción de cada constituyente se aplicó también el pretratamiento WMSC a los datos espectrales recogidos como log 1/R.

## RESULTADOS

De las 48 ecuaciones desarrolladas para cada uno de los constituyentes, fueron seleccionadas las más representativas por tratamiento matemático, en función de los parámetros ya mencionados: 0, 0, 1; 1, 4, 4; 1, 5, 5; 2, 4, 4; 2, 10, 5; 3, 5, 5 y 3, 15, 10 (representando cada terna grado de derivación, segmento y espacio intersegmento, respectivamente. Éstos dos últimos están expresados en puntos espectrales). Las variaciones del error estándar de validación cruzada (SECV), en función del pretratamiento de los espectros y del tratamiento matemático utilizado para el desarrollo de la regresión para MS, CEN, PB, FND, DEMO y AL se muestran en las Figuras 2 a 7.

Elegida la mejor regresión en cada caso, fueron desarrolladas las ecuaciones definitivas, eliminando las muestras no pertenecientes a la población según su estadístico H (distancia de Mahalanobis < 3) al espectro promedio de la colección en estudio, según algoritmo Center (Shenk y Westerhaus, 1991a). El tratamiento matemático fue también desarrollado con dos diferentes pretratamientos de los datos espectrales (Tabla 2).

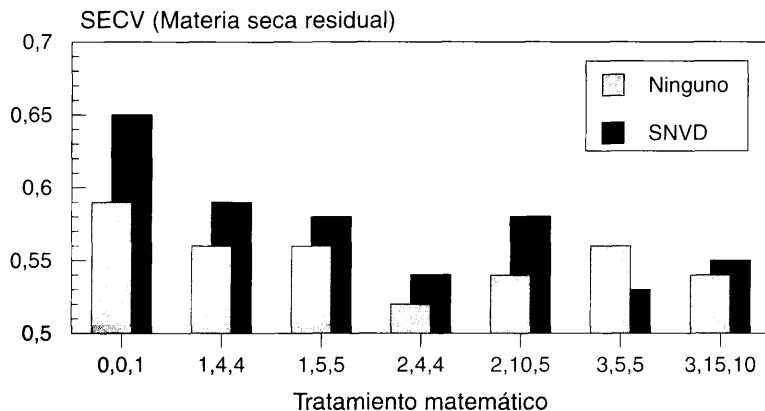


FIGURA 2

**Errores de validación cruzada para materia seca residual en porcentaje (%MS), según corrección (ninguno y SNVD) y tratamiento matemático de los espectros (derivada, segmento y espacio intersegmento).**

*Figure 2- Standard errors of cross-validation for residual dry matter as a percentage (%DM), according to correction (none and SNVD) and mathematical treatment of the spectra (derivative, segment and gap).*

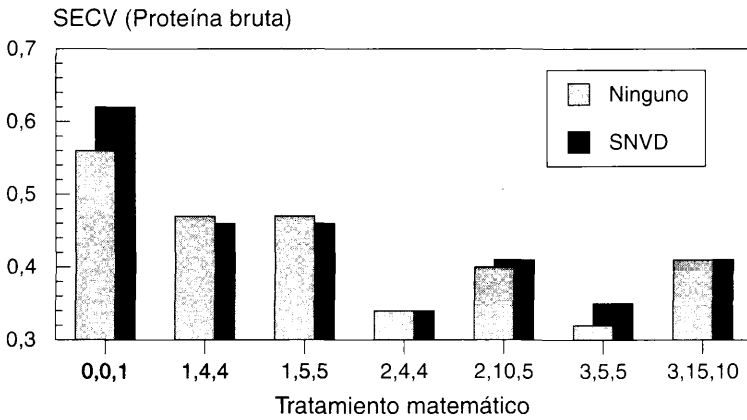


FIGURA 3

**Errores de validación cruzada para proteína bruta en porcentaje (%PB), según corrección (ninguno y SNVD) y tratamiento matemático de los espectros (derivada, segmento y espacio intersegmento).**

*Standard errors of cross-validation for crude protein as a percentage (%CP), according to correction (none and SNVD) and mathematical treatment of the spectra (derivative, segment and gap).*

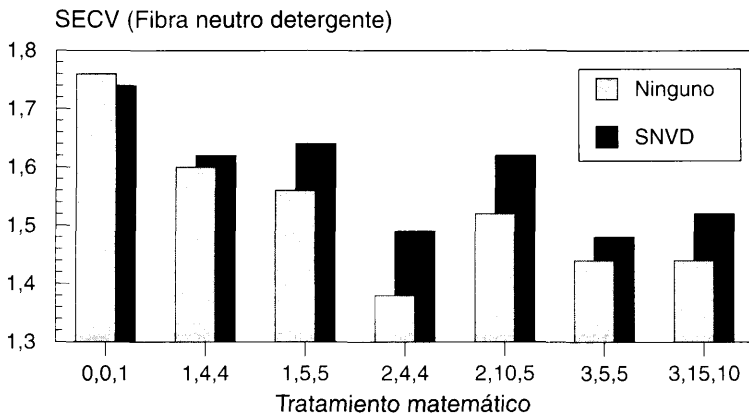


FIGURA 4

**Errores de validación cruzada para fibra neutro detergente en porcentaje (%FND), según corrección (ninguno y SNVD) y tratamiento matemático de los espectros (derivada, segmento y espacio intersegmento).**

*Standard errors cross-validation for neutral detergent fibre on percentage (%NDF), according to correction (none and SNVD) and mathematical treatment of the spectra (derivative, segment and gap).*

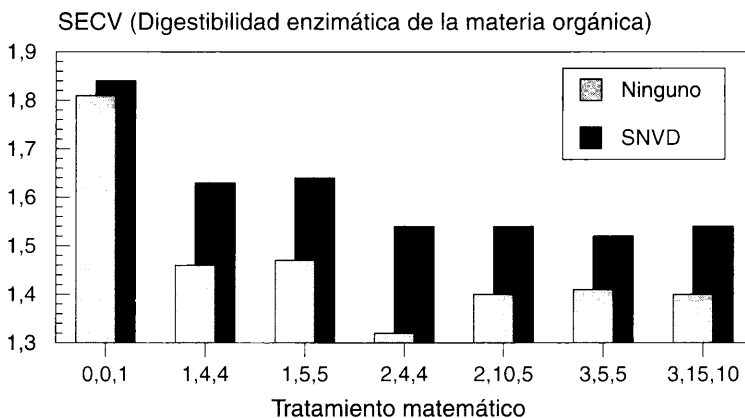


FIGURA 5

**Errores de validación cruzada para digestibilidad enzimática de la materia orgánica en porcentaje (%DEMO), según corrección (ninguno y SNVD) y tratamiento matemático de los espectros (derivada, segmento y espacio intersegmento).**

*Standard errors of cross-validation for enzymatic digestibility organic matter as a percentage (%EDOM), according to correction (none and SNVD) and mathematical treatment of the spectra (derivative, segment and gap).*

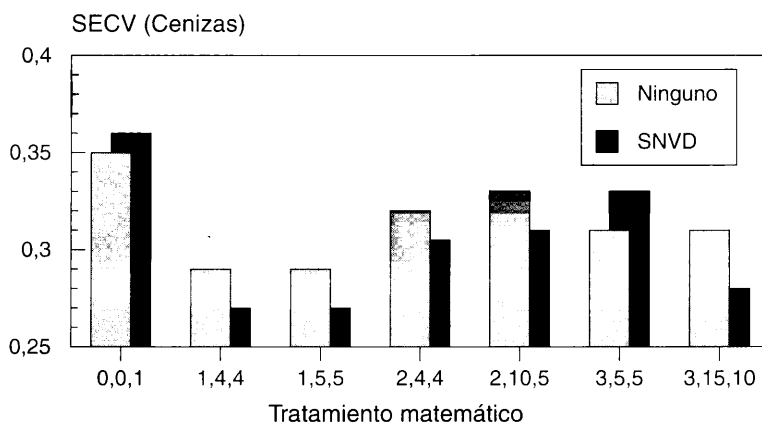


FIGURA 6

**Errores de validación cruzada para cenizas en porcentaje (%CEN), según corrección (ninguno y SNVD) y tratamiento matemático de los espectros (derivada, segmento y espacio intersegmento).**

*Standard errors of cross-validation for ash as a percentage (%ASH), according to correction (none and SNVD) and mathematical treatment of the spectra (derivative, segment and gap).*



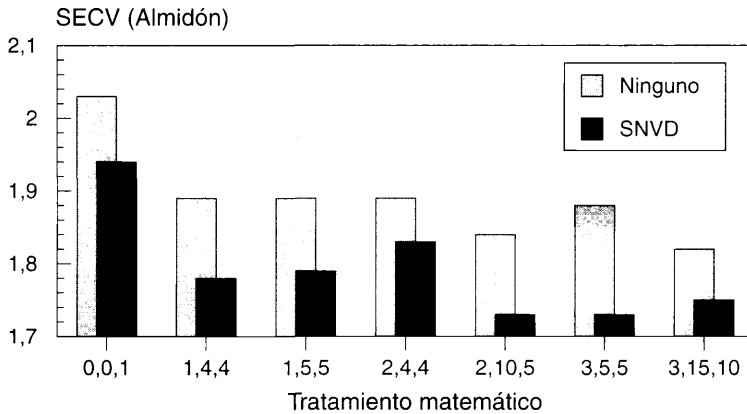


FIGURA 7

**Errores de validación cruzada para almidón en porcentaje (%AL), según corrección (ninguno y SNVD) y tratamiento matemático de los espectros (derivada, segmento y espacio intersegmento).**

*Standard errors of cross-validation for starch on percentage (%SCH), according to correction (none and SNVD) and mathematical treatment of the spectra (derivative, segment and gap).*

## DISCUSIÓN

Los mejores resultados de calibración para MS, FND y DEMO, se obtuvieron con la regresión en segunda derivada y 4 puntos espectrales para los segmentos y espacios intersegmentos (2, 4, 4). Para PB destacaron el tratamiento anterior y tercera derivada con 5 puntos espectrales para segmentos y espaciado (3, 5, 5). Figura 3

En las Figuras 2 a 5, se puede observar como el SECV presentó valores más elevados cuando los datos espectrales no fueron derivados, hecho concordante con los estudios de Sinnaeve et al.(1994).

Este error disminuyó al aplicar primera derivada y se redujo aún más con segunda y tercera.

El pretratamiento SNVD (Barnes et al, 1989), cuya finalidad es minimizar los errores de naturaleza física, no resultó efectivo para disminuir el SECV con ningún tratamiento matemático para PB, FND y DEMO (Figuras 3 a 5). En el caso de MS (Figura 2), aunque redujo el error en tercera derivada (3, 5, 5), éste aún resultó superior al obtenido en 2, 4, 4 sin pretratamiento. Esto contrasta con los resultados obtenidos por Sinnaeve et al.

(1994), en un trabajo también realizado sobre muestras de maíz, en el cual para los parámetros investigados (PB, celulosa y DEMO) y en todos los tratamientos matemáticos probados, el error SECV disminuyó al aplicar SNVD como pretratamiento, aunque sí se constata el hecho de que con este pretratamiento al incrementar el segmento y el espacio intersegmento en la misma derivada también aumentó el valor de SECV.

Para cenizas se obtuvieron los mejores estadísticos con primera derivada, para los tratamientos 1, 4, 4 y 1, 5, 5. Al igual que en el caso de la MS, PB, FND y DEMO, las regresiones de los datos espectrales en log 1/R presentaron errores superiores a los obtenidos cuando los espectros fueron derivados (Figura 6). En este caso el pretratamiento SNVD redujo el error SECV con primera y segunda derivada, no observándose sin embargo el incremento del error al aumentar el espacio intersegmentos en el mismo tratamiento matemático.

Con respecto al almidón, los estadísticos obtenidos dieron como mejores opciones los tratamientos 2, 10, 5 y 3, 5, 5. En este parámetro si resultó operativo el pretratamiento SNVD (Figura 7) que redujo en todos los casos el error SECV entre un 3, 85 y 7, 98%.

En función de los resultados anteriores, resulta imposible generalizar las condiciones específicas para obtener la mejor ecuación de regresión, puesto que varía según los constituyentes a predecir. En algunos casos parece recomendable un pretratamiento a los espectros combinado con la derivación de los mismos. Para unos constituyentes la mejor opción matemática es la segunda derivada; en otros de difícil predicción, como es el caso de las cenizas, la primera. Tampoco existe uniformidad en la longitud del espaciado intersegmento y segmento. Lo que sí parece definitivo, es la necesidad de desarrollar las ecuaciones sobre las derivadas de los espectros, puesto que en log 1/R todos los estadísticos resultan peores. Sin embargo, no se han considerado las terceras derivadas, puesto que se podrían distorsionar los datos espectrales por cambios de localización de las bandas de absorción.

Las calibraciones definitivas fueron realizadas después de centrar la población empleando el algoritmo Center (Shenk y Westerhaus, 1992). Por este motivo la distribución de las muestras de la población no es necesariamente igual a la del conjunto de partida aunque fueron asumidos como mejores tratamientos matemáticos los encontrados en el estudio inicial, probándose dos diferentes pretratamientos de los espectros, frente a la no utilización de los mismos (Tabla 2).

Para MS, PB y FND las mejores ecuaciones se obtuvieron ejecutando el pretratamiento WMSC sobre los espectros en segunda derivada con segmento y espaciado intersegmento iguales a 4 (2, 4, 4). Los errores de validación se redujeron de 0, 639; 0, 370; 1, 510 para MS, PB y FND sin pretratamiento o con SNVD a 0, 510; 0, 340 y 1, 455 respecti-

vamente empleando WMSC y los coeficientes de determinación de validación se incrementaron de 0,886 a 0,923 para MS; 0,821 a 0,847 para PB y 0,906 a 0,912 para FND. Estos errores resultan inferiores a los obtenidos por Biston y Derdenne (1994) y Shenk y Westerhaus (1991b) sobre plantas enteras de maíz.

TABLA 2

**Opciones matemáticas y estadísticas de las ecuaciones de regresión seleccionadas para la composición química y digestibilidad del maíz forrajero.**

*Mathematical options and estatistical parameters of the regression equations for chemical composition and digestibility on fodder maize.*

Constituyente	N	T	PT	TRM	SEC	R <sup>2</sup> C	SECV	1-VR
MS	115	9	Ninguno	2,4,4	0,460	0,938	0,639	0,886
	116	9	SNVD	2,4,4	0,493	0,929	0,579	0,902
	116	12	WMSC	2,4,4	0,369	0,956	0,510	0,923
CEN*	115	3	Ninguno	1,4,4	0,368	0,683	0,394	0,646
	117	3	SNVD	1,4,4	0,396	0,667	0,428	0,614
	114	4	WNVC	1,4,4	0,347	0,720	0,367	0,692
PB*	118	12	Ninguno	2,4,4	0,270	0,901	0,350	0,839
	118	12	SNVD	2,4,4	0,280	0,900	0,370	0,821
	118	12	WMSC	2,4,4	0,276	0,900	0,340	0,847
FND*	120	12	Ninguno	2,4,4	1,231	0,940	1,490	0,914
	117	10	SNVD	2,4,4	1,240	0,940	1,510	0,906
	117	11	WMSC	2,4,4	1,167	0,944	1,458	0,912
AL*	98	9	Ninguno	2,10,5	1,552	0,910	1,817	0,876
	98	6	SNVD	2,10,5	1,567	0,921	1,776	0,900
	98	7	WMSC	2,10,5	1,599	0,904	1,796	0,878
DEMO	118	10	Ninguno	2,4,4	1,207	0,931	1,392	0,910
	117	9	SNVD	2,4,4	1,271	0,919	1,549	0,881
	118	8	WMSC	2,4,4	1,336	0,910	1,479	0,890

N - Número de muestras. T - Número de términos en la ecuación PLS. PT - Pretratamiento matemático de los espectros - TRM - Tratamiento matemático (derivada, gap y segmento). SEC - Error estándar de calibración. R<sup>2</sup>C - coeficiente de determinación de la calibración. SECV - Error estándar de validación cruzada. 1-VR Coeficiente de determinación de la validación cruzada. MS - Materia seca residual de la muestra desecada a 60°C. CEN - Cenizas. PB - Proteína bruta. FND - Fibra neutro detergente. AL - Almidón. DEMO - Digestibilidad enzimática de la materia orgánica. \* - Resultados obtenidos sobre valores referidos a materia seca residual.

Para cenizas, el pretratamiento WMSC sobre el tratamiento 1, 4, 4 también supuso una mejora sustancial en la ecuación. El SECV descendió de 0, 428 a 0, 367 y 1-VR incrementó de 0, 614 a 0, 692 con errores también inferiores a los de Biston y Dardenne (1994).

En el caso de la digestibilidad enzimática, los resultados reflejan claramente que el tratamiento 2, 4, 4 sin pretratamiento es la mejor opción (SECV = 1, 39). Sólo concuerda en parte con los resultados de Sinnaeve et al. (1994), puesto que estos autores, aunque también consiguen los menores errores SECV en segunda derivada (1, 67), los mejoraron al corregir sus espectros con SNVD.

De las ecuaciones desarrolladas para el almidón, resultó mejor el pretratamiento SNVD desarrollado sobre los datos espectrales en segunda derivada (2, 10, 5), con un SECV DE 1, 776, valor inferior al 2, 15 referido por Biston y Dardenne (1994). Para este constituyente el coeficiente de determinación resultó igual a 1-VR = 0, 900. Orman y Schuman (1991) desarrollaron también ecuaciones mínimo cuadráticas para almidón en maíz grano con un coeficiente de determinación de 0, 73, bastante alejado del conseguido en este estudio, probablemente por haber trabajado en primera derivada.

## CONCLUSIONES

Aunque las técnicas analíticas convencionales ya están suficientemente testadas, la espectroscopía en el infrarrojo cercano representa el futuro en la nutrición animal para solventar con rapidez gran parte de la problemática del sector agropecuario en materia de alimentación de cara al próximo siglo.

En este trabajo se demostró que es posible aplicar la tecnología NIRS para conocer la calidad del maíz forrajero con precisión aceptable.

Los mejores resultados para MS, PB y FND se obtuvieron con WMSC como pretratamiento, segunda derivada de los datos espectrales y segmentos y espacio intersegmento igual a 4.

La digestibilidad enzimática de la materia orgánica, se estimó con mayor precisión cuando los espectros no fueron sometidos a ningún pretratamiento, y en segunda derivada también con segmento y espacio intersegmento de cuatro.

El almidón presenta una solución diferente, mostrando los mejores resultados con SNVD como pretratamiento y segunda derivada segmento 10 y espacio intersegmentos igual a 5 puntos espectrales.

Para cenizas, aunque los mejores resultados se obtuvieron con primera derivada, parece claro que se trata de un constituyente difícil de predecir con fiabilidad.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean mostrar su agradecimiento a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) por la cofinanciación del equipo de reflectancia en el infrarrojo cercano, sin la cual no se hubiera llevado a cabo la finalización de este trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARNERS, R.J.; DHANOA, M.S.; LISTER, S.J., 1989. Standard normal variate transformation and de-trending of Near Infrared Diffuse Reflectance Spectra. *Applied Spectroscopy*, 43 (5), 772-777.
- BISTON, R.; DARDENNE, P., 1994. *Analyse de la qualite des forrajes. Réseau de laboratoires d'analyse de la qualité des produits agricoles et agroalimentaires au service des agriculteurs et PME du Sud-Est*. 40 pp. Regnase. Rue de Serpont, 100. 6800 Libramont.
- GARCÍA CRIADO, B.; LEÓN MORÁN, L.; GARCÍA CIUDAD, A., 1977. Determinación directa de proteína, NDF, ADF, lignina, DADF y DMD en plantas herbáceas mediante reflectancia en el infrarrojo. *Pastos*, 7, 112-126.
- GARCÍA CRIADO, B.; LEÓN MORÁN, L.; GARCÍA CIUDAD, A., 1978. Análisis y evaluación automática de forrajes espectroscopía (R.I.). Longitudes de onda óptima. *Pastos*, 8, 311-323.
- HERRERA-SALDANA, R.E.; HUBER, J.T.; POORE, M.H., 1990. Dry Matter, Crude Protein and Starch Degradability of Five Cereal Grains. *J. Dairy Sci.*, 73(9), 2386-2393.
- MORENO GONZÁLEZ, J. 1982. El maíz forrajero: una opción en las explotaciones ganaderas. *XII Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*. La Coruña. 24-28 mayo.
- NORRIS, K.M.; BARNERS, R.F.; MOORE, J.E.; SHENK, J.S., 1976. Predicting forage quality by Infrared Reflectance Spectroscopy. *J. Anim. Sci.*, 43, 889-897.
- ORMAN, B.A.; SCHUMAN, R.A., Jr., 1991. Comparison of Near Infrared Spectroscopy Calibration Methods for the Prediction of protein, oil, and starch in maize grain. *J. Agric. Food. Chem.*, 39, 883-886.
- RIVEROS, E.; ARGAMENTERÍA, A., 1987. Métodos enzimáticos de la predicción de la digestibilidad in vivo de la materia orgánica de forrajes. I Forrajes verdes. II Henos. III Ensilados y pajas. *Avances en Producción Animal*, 12, 49-75.
- SALOMONSSON, A.C.; THEANDER, O.; WESTERLUND, E., 1984. Chemical characterization of some swedish cereal whole meal and brand factors. *Swedis J. Agric. Res.*, 14, 111-117.
- SHENK, J.S.; WESTERHAUS, M.O., 1991a. Population definition, sample selection, and calibrations procedures for Near Infrared Reflectance Spectroscopy. *Crop Sci.*, 31, 469-474.
- SHENK, J.S.; WESTERHAUS, M.O., 1991b. Population structuring Near Infrared Spectra and Modified Partial Least Square Regression. *Crop Sci.*, 31, 1548-1555.
- SHENK, J.S.; WESTERHAUS, M.O., 1992. *ISI-NIRS 3.0 Manual*. Infracsoft International, 331 pp. Port Matilda PA. USA.
- SHENK, J.S.; WESTERHAUS, M.O., 1993. *Monograph: Analysis of Agriculture and Food Products by Near Infrared Reflectance Spectroscopy*. Infracsoft International, 103 pp. Port Matilda PA. USA.
- SINNAEVE, G.; DARDENNE, P.; AGNEESSENS, R., 1994. Global or local? A choice for NIR calibrations in analyses of forage quality. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 2, 163-175.

- TECATOR. *Application Note, 1995. AN 300. The determination of nitrogen according to Kjeldahl using block digestion and steam distillation.* Perstorp Analytical.
- VAN DER MEER, J.M., 1983. C.E.C. Workshop on methodology of feedingstuffs for ruminants. European in vitro Ringtest Statistical Report Ins. Voor Veevoedingsonderzoek (IVVO). The Netherlands. Concept Report, 155. 36 pp.
- VAN SOEST, P.J., 1963a. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. I. Preparation of fibre residues of low nitrogen content. *J. Assoc. Off. Agric. Chem.*, 46, 825-828.
- VAN SOEST, P.J., 1963b. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fibre and lignin. *J. Assoc. Off. Agric. Chem.*, 46, 829-835.
- VAN SOEST, P.J., 1967. Development of a comprehensive system of feed analyses and its applications to forages. *J. Anim. Sci.*, 26, 119-127.
- VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, 74, 3583-3597.

ANALYSIS OF FORAGE MAIZE BY NIRS. PREDICTION VARIATIONS  
ACCORDING TO MATEMATICAL TREATMENT OF SPECTRAL DATA.

**SUMMARY**

With the object of determining the nutritive quality of fodder maize of several varieties according to FAO cycle, with a rapid, precise and economic method of analysis, the effect of the pretreatment of spectral data (none, SNVD and WMSC) and derivatives (0, 1, 2, 3) on the standard errors of predictive models in the near infrared was studied. For the constituents selected, dry matter residual (DM), ash (ASH), crude protein (CP), neutral detergent fibre (NDF), enzymatic digestibility organic matter (EDOM) and starch (SCH) the study shows that it is not possible to generalize the optimal conditions to obtain a good regression equation with the minimum errors.

In this study the spectra for the development of the calibrations were collected on a NIRSystems 5000 with range of reading between 1100 and 2500 nm.

The best coefficients of determination for cross-validation (1-VR) on DM, CP and NDF (0.92, 0.85 and 0.91 respectively) and the minor standard errors of cross-validation (SECV) (0.51, 0.34 and 1.46 respectively) were obtained with WMSC as pretreatment and second derivative. For EDOM, second derivative without pretreatment with 1-VR= 0.91 and SECV= 1.39. In the case of SCH the improve statistical results, 1-VR= 0.90 and SECV= 1.78 were obtained applying SNVD and also a second derivative. A first derivative only was a good option on ASH with WMSC as pretreatment of the spectral data.

**Key Words:** Near infrared reflectance, nutritive value, enzymatic digestibility, fodder maize.