

VARIABILIDAD EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS MAZORCAS ENTRE POBLACIONES LOCALES DE MAÍZ DE DIVERSAS ZONAS DE LA ESPAÑA PENINSULAR E ISLAS CANARIAS

GENETIC VARIABILITY BETWEEN LOCAL REPRESENTATIVE MAIZE LANDRACES OF DIFFERENT AREAS OF MAINLAND SPAIN AND CANARY ISLANDS FOR THE NUTRITIONAL VALUE OF COBS

L. CAMPO¹, P. REVILLA², R.A. MALVAR², A. ÁLVAREZ³, J.I. RUÍZ DE GALARRETA⁴, D. RÍOS⁵, A. ORDÁS² Y J. MORENO-GONZÁLEZ¹.

¹ Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (CIAM), Apartado 10, 15080-A Coruña, España. Tfno +34981647902, Fax +34981673656, laura.campo.ramirez@xunta.es. ² Misión Biológica de Galicia (CSIC), Apartado 28, 36080-Pontevedra, España.

³ Estación Experimental de Aula Dei (CSIC), Apartado 13034, 50080-Zaragoza, España ⁴ NEIKER-Instituto Vasco de Investigación y Desarrollo Agrario, Vitoria, España ⁵ Centro de Conservación de la Biodiversidad Agrícola de Tenerife (CCBAT), Tenerife, España.

RESUMEN

Se seleccionaron doce poblaciones autóctonas de maíz representativas de la zona húmeda y seca de la Península y de las Islas Canarias buscando diferente latitud y fotoperiodo. Se evaluaron en cinco ambientes en 2011 y se analizó el valor nutritivo de las mazorcas (grano + zuro) mediante el desarrollo de ecuaciones de predicción por Espectroscopía de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS), que fueron válidas para la determinación de proteína bruta, almidón y fibra ácido y neutro detergente. Las poblaciones fueron clasificadas en función de su calidad nutritiva. En el ambiente subtropical de Tenerife las poblaciones alcanzaron mayores valores de proteína bruta y almidón, así como menores niveles de concentración de fibra, debido tal vez a una mayor radiación solar que favoreció la completa formación de la mazorca en las variedades tardías.

Palabras clave: proteína, fibra ácido detergente, fibra neutro detergente, almidón, fotoperiodo.

SUMMARY

Twelve maize landraces were selected as representative of the humid and dry zones of Spain and the Canary Islands seeking different latitude and photoperiod regarding the Iberian Peninsula. They were evaluated in five environments in 2011 and the nutritive value of the maize ears (grain + cob) was assessed by Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS). Valid NIRS prediction equations were developed for the determination of crude protein, starch, acid and neutral detergent fiber in maize ears. Landraces were classified according to the nutritious quality. The subtropical environment of Tenerife provided the greater values of crude protein and starch and the lesser levels of fiber concentration likely due to the intensive solar radiation that mainly favored the complete formation of grain in the late varieties.

Key words: crude protein, acid detergent fiber, neutral detergent fiber, starch, photoperiod.

INTRODUCCIÓN

En regiones como Galicia donde la agricultura se basa en el minifundio, el cultivo de maíz con alta producción de materia seca y, por lo tanto alta producción de energía por unidad de superficie, está muy extendido. El maíz, tanto en forma de grano como de ensilado o en forma de forraje verde, es utilizado como alimento por varias especies animales de granja y para consumo humano. En Galicia el aprovechamiento mayoritario del cultivo de maíz se realiza como forraje verde o como silo de maíz, utilizándose en ambos casos la planta entera. Actualmente también se están empleando en la alimentación de vacas y cerdos silos de mazorca de maíz (con y sin espatas), conocidos como “pastone” y silos de grano también llamados “pastone de grano”.

Durante la fase de maduración del maíz se produce una lignificación progresiva de la parte vegetativa de la planta (tallo + hojas) que tiende a reducir la digestibilidad de la parte verde, que se ve compensada sin embargo, por la acumulación progresiva de almidón en el grano. El grano es el principal componente de la mazorca (hasta un 88% de su peso), aunque grano y zuro tienen una composición química muy diferente. El grano presenta mayor contenido en almidón y proteína, mientras que el zuro muestra altos valores en contenido de fibra y, por lo tanto, menor palatabilidad. Diferentes estudios han

encontrado diferencias significativas en la composición química de genotipos de maíz: en el contenido de proteína, fibra ácido y neutro detergente y contenido de almidón (Thomas *et al.* 2001).

La caracterización de los recursos fitogenéticos de maíz ha consistido principalmente en el estudio de caracteres de planta y de mazorca, fisiológicos y agronómicos, pero pocas veces mediante caracteres de calidad. La presente investigación se llevó a cabo para evaluar la variabilidad en el valor nutritivo de mazorcas de maíz (grano+ zuro) de doce poblaciones representativas de toda España: la zona húmeda y la zona seca de la Península y las Islas Canarias. Estas últimas debido a su diferente latitud respecto a la Península poseen distinto fotoperiodo. Se han desarrollado para ello ecuaciones de predicción NIRS.

MATERIAL Y MÉTODOS

1. Material vegetal

Se evaluaron doce poblaciones de maíz mediante ensayos con un diseño experimental de bloques al azar con dos repeticiones y cinco ambientes en el año 2011. Las poblaciones representaban a la zona húmeda de la Península (“Donostia”, “Mondoñedo”, “Tuy” y “Viana”), la zona seca (“Castellote”, “Hembrilla”, “Rastrojero” y “Véjer”) y las Islas Canarias (“Arucas”, “Tacoronte”, “La Oliva” y “La Orotava”). Las doce poblaciones

fueron multiplicadas y simultáneamente evaluadas en cinco ambientes diferentes: A Coruña, Pontevedra, Vitoria-Gasteiz, Zaragoza y Tenerife.

2. Metodología

Las poblaciones se polinizaron en cadena utilizando aproximadamente 30 plantas en cada repetición para evitar el efecto *xenia* en los caracteres de valor nutritivo analizados. Se recogieron seis mazorcas de cada genotipo en cada ambiente (tres mazorcas por repetición), excepto en Tenerife donde se recogieron tres mazorcas ya que una repetición fue descartada. Las muestras fueron trituradas y secadas en estufa durante 16 h a 80°C y, posteriormente molidas en un molino Chris Norris de 1mm de poro.

Los caracteres de calidad estimados mediante espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) fueron: contenido de proteína bruta (PB), contenido de fibra ácido y neutro detergente (FAD y FND) y contenido de almidón (ALM). Cada muestra fue leída dos veces utilizando una cápsula redonda de cuarzo en el módulo de *spinning*. Los análisis de referencia por vía húmeda

para los diferentes parámetros fueron: contenido de proteína bruta, método Kjeldahl (AOAC 1990); contenido de almidón, método polarimétrico de EWERS, (FEDNA, 2000); fibra neutro y ácido detergente, usando el método descrito por Goering y Van Soest (1970). Para el proceso de calibración se utilizaron 292 muestras de mazorcas de maíz procedentes de diferentes ambientes analizadas por vía húmeda. Los caracteres de PB, FAD y FND fueron analizados en el CIAM-INGACAL y el contenido de almidón en el Laboratorio Agrario y Fitopatológico de Galicia (LAFIGA-INGACAL).

3. Análisis estadístico

Se utilizaron los valores medios de las predicciones NIRS en cada repetición para realizar el análisis de varianza y para comparar las medias con las mínimas diferencias significativas (LSD) de las poblaciones y los ambientes. El análisis de varianza de los parámetros nutricionales (Tabla 1), se realizó con el procedimiento PROC MIXED de SAS v.9.2 donde las repeticiones se evaluaron como efectos aleatorios y los ambientes y los genotipos (las poblaciones), como efectos fijos.

Tabla 1: Cuadrados medios (CM) del análisis de varianza y prueba F

Fuente de variación	gl	CM	Prueba F
Ambiente (A)	4	CM_A	$(CM_A + CMe) / (CM_{RA} + CM_{AG})$
Repetición/A (R/A)	4	CM_{RA}	
Genotipo (G)	11	CM_G	CM_G / CM_{AG}
A × G	44	CM_{AG}	
Error	44	CMe	CM_{AG} / CMe

gl: grados de libertad

Las mínimas diferencias significativas entre ambientes (LSD_a 5%) se calcularon como:

$$LSD_a = \sqrt{\frac{2(CM_{RA} + CM_{AG})}{rg}} t_{0,05, gIe}$$

Las mínimas diferencias significativas entre genotipos (LSD_g) $p < 0,05$ se estimaron como:

$$LSD_g = \sqrt{\frac{2(CM_{AG})}{ra}} t_{0,05, gIe}$$

Donde $t_{0,05, gIe}$ se refiere al valor tabular de la t de Student al 5 % de probabilidad y los grados de libertad del error; r , g y a son

la media armónica del número de repeticiones (en este caso 1,67), el número de genotipos y el número de ambientes, respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ecuaciones NIRS:

En la Tabla 2 se presenta el rango de variación, la desviación estándar (SD) y el valor medio de todos los parámetros nutritivos en la calibración. Los detalles de las ecuaciones de calibración y validación cruzada empleadas en la lectura de las muestras se detallan en la Tabla 3.

Tabla 2: Rango de variación, valor medio y desviación estándar en los parámetros de valor nutritivo en mazorca de maíz.

Parámetro (%MS)	Calibración			
	Mínimo	Máximo	Media	SD
PB	4,86	13,18	9,00	1,63
FAD	3,68	25,09	8,82	3,58
FND	14,76	52,97	30,25	9,15
ALM	10,60	66,49	46,57	13,41

SD: desviación estándar; MS: materia seca; PB: proteína bruta; FND y FAD: fibra neutro detergente y ácido detergente; ALM: almidón.

Tabla 3: Estadísticos de calibración y validación cruzada obtenidos por regresión para la estimación de los parámetros de valor nutritivo en mazorca de maíz.

Parámetro (%MS)	Modelo de ajuste		Calibración		Validación cruzada	
	PE	TM (a,b,c,d)	SEC	R ²	SECV	RPD
PB	MPLS	2,8,4,1	0,46	0,92	0,50	3,3
FAD	MPLS	2,8,4,1	0,66	0,96	0,74	4,8
FND	MPLS	2,8,4,1	2,55	0,92	3,11	2,9
ALM	MPLS	1,4,4,1	1,13	0,99	1,50	8,9

PE: procedimiento estadístico (MPLS: mínimos cuadrados principales modificados); TM: Tratamiento matemático (a: derivada, b: número de puntos de longitudes de onda para calucular la derivada, c: número de puntos usados para la suavización 1, d: el número 1 significa que no hubo suavización 2); SEC: error estándar de calibración; R²: coeficiente de determinación en calibración; SECV: error típico de validación cruzada; RPD: SD/SECV; PB: proteína bruta; FND y FAD: fibra neutro detergente y ácido detergente; ALM: almidón.

Los coeficientes de determinación en la calibración mostraron valores satisfactorios para todos los parámetros evaluados: 0,92 (PB y FND), 0,96 para FAD y 0,99 para ALM. Los valores de validación cruzada SECV no se diferenciaron mucho de sus homólogos de calibración SEC; igualmente los valores RPD fueron superiores a 3 para

el contenido de PB (3,3), FAD (4,8) y ALM (8,9), y alcanzó el valor de 2,9 para FND, lo que indica que se pueden realizar buenas predicciones según diferentes autores (Mouazen *et al.*, 2005).

Evaluación de las poblaciones en función de los caracteres de valor nutritivo:

Tabla 4: Cuadrados medios del análisis de varianza combinado de los parámetros nutritivos donde los ambientes y repeticiones son efectos aleatorios y las variedades locales los efectos fijos.

Fuente de variación	gl	PB	FAD	FND	ALM
Ambiente (A)	4	9,56 ***	31,21 ***	167,92 ***	294,25 ***
Rep (A)	4	0,70 ns	2,10 ns	9,71 ns	4,28 ns
Genotipo (G)	11	1,96 **	6,43 ns	39,76 **	59,30 **
A x G	44	0,68 **	3,45 ns	13,22 ns	21,12 ns
Error	44	0,28	2,14	11,82	15,69

PB: proteína bruta; FND y FAD: fibra neutro detergente y ácido detergente; ALM: almidón. *, **, ***: diferencias significativas al $p < 0,05$, $p < 0,01$ y $p < 0,001$, respectivamente; ns: no significativo. gl: grados de libertad; Rep: repetición.

Se han encontrado diferencias significativas entre ambientes para todos los parámetros evaluados (Tabla 4) y entre genotipos para todos los parámetros ($p < 0,01$), excepto FAD. También se ha encontrado una interacción significativa entre ambientes y genotipos para PB pero no para el resto de caracteres.

En la Tabla 5 se presentan las medias del contenido de PB, FAD, FND y ALM en porcentajes (%) sobre materia seca (MS) para cada uno de las poblaciones evaluadas. Las variedades “Hembrilla”, “Viana” y “Tuy” alcanzaron los mayores contenidos de ALM, 56,4, 53,9 y 52,2 %, respectivamente. “Hembrilla” también presentó el menor con-

tenido en fibras de la pared celular FND y FAD, 22,7 y 9 % respectivamente. Las poblaciones canarias “La Oliva”, “La Orotava” y “Taraconte” así como la población de la zona seca “Véjer”, presentaron concentraciones de almidón por debajo del 50%, así como las mayores concentraciones de fibras, superiores al 29% en el caso de FND y por encima del 12% para FAD. Szyszkowska *et al.* (2007) también encontraron concentraciones de almidón máximas de 55,9 g/100g MS y mínimas en ADF de 8,98 g/100g MS en mazorcas de híbridos de maíz de ciclo 200 sembrados en cultivo ecológico y en laboreo convencional, así como FND mínimas de 25,5 g/100g MS, valores superiores a los aquí mostrados.

Tabla 5: Medias de los parámetros de valor nutritivo evaluados en doce variedades locales de maíz.

Variedad local	PB	FAD	FND	ALM
Tuy	9,3	11,0	25,8	52,2
Viana	9,1	11,1	27,0	53,9
Mondoñedo	8,8	11,7	29,0	51,1
Donostia	9,0	11,8	28,2	51,1
Castellote	7,8	11,4	28,2	51,8
Hembrilla	8,2	9,0	22,7	56,4
Véjer	9,1	11,8	30,6	47,4
Rastrojero	9,1	11,6	28,6	51,0
Arucas	8,4	11,0	27,1	51,6
La Oliva	8,2	12,2	29,2	49,1
La Orotava	8,6	12,2	29,8	48,4
Tacoronte	9,0	12,3	30,2	47,1
Media	8,7	11,4	28,0	50,9
LSD	0,78	1,77	3,46	4,38
significación estadística	**	ns	**	**

PB: proteína bruta (%MS); FND y FAD: fibra neutro detergente y ácido detergente (%MS); ALM: almidón (%MS). LSD: mínimas diferencias significativas (5%) entre variedades locales.

El valor medio de ALM de todas las poblaciones evaluadas fue de 50,9%, similar al encontrado por García Pomar *et al.* (2011) en los ensayos realizados en Mabegondo en el año 2009 e inferior al publicado en otros trabajos con híbridos de maíz: 54,7% (Báez Bernal *et al.*, 2013), 54,8% (Szyszkowska *et al.*, 2007) y 54% (Lynch *et al.*, 2012).

El intervalo de PB encontrado fue de 7,8% en la población “Castellote” hasta los valores más altos de “Tuy” 9,3 %, seguidas por “Rastrojero”, “Véjer” y “Viana” (9,1%). El menor contenido en fibra ácido detergente se encontró en la población “Hembrilla” (9%) y “Tuy” y “Arucas” (11%). Valores de proteína bruta comprendidos en el rango 7,6-8,8 g/100g MS han sido publicados por Szyszkowska *et al.* (2007). Valores

más bajos, máximos de 7,05% en el año 2008 y 6,47% en el año 2009, fueron alcanzados en evaluaciones de García Pomar *et al.* (2011) con un híbrido de maíz de ciclo FAO 200 sembrado sin abonar y bajo siete niveles diferentes de fertilización orgánica e inorgánica. Los resultados medios de PB (8,7%), FAD (11,4%) y FND (28%) fueron muy similares a los mostrados por Lynch *et al.* (2012) para seis híbridos de maíz de ciclos 200 y 300 sembrados en Irlanda y cosechados a finales del mes de octubre. La concentración de proteína bruta en la mazorca parece ser superior en las poblaciones frente a los híbridos evaluados en el mismo ambiente, Mabegondo, en trabajos precedentes (García Pomar *et al.*, 2011 y Báez Bernal *et al.*, 2013).

En la Tabla 6 se presentan las medias

LSD de los parámetros nutricionales para cada una de las localidades evaluadas. Se han encontrado diferencias significativas entre localidades para todos los parámetros evaluados. El ambiente donde se alcanzaron mayores contenidos de ALM y PB fue Tenerife con 56,5 y 9,5% respectivamente, así como la menor concentración de fibras en la pared celular, con unos valores de 9,4 y 22,6% para FAD y FND respectivamente. Las más altas concentraciones de almidón se alcanzó en Tenerife, con valores de 56,5%, en Vitoria-

Gasteiz con 52,6% y en Zaragoza con 51,3%. En la zona húmeda peninsular, los valores de almidón fueron inferiores al 48% (47,6% en Pontevedra y 46,6% en Mabegondo). La acumulación de temperaturas efectivas incrementa la integral térmica (GDU), lo que permite una mejor maduración de la mazorca y, por lo tanto, un aumento en el contenido de almidón y la disminución en el contenido de la fracción FND de la mazorca (Szyszkowska et al., 2007).

Tabla 6: Medias de los parámetros de valor nutritivo evaluados en cinco ambientes.

Ambiente	PB	FAD	FND	ALM
Mabegondo	7,6 b	12,7 b	29,5 a	46,6 c
Vitoria-Gasteiz	8,8 a	10,8 a	27,7 b	52,6 b
Pontevedra	9,0 a	12,1 b	31,0 b	47,6 c
Tenerife	9,5 a	9,4 a	22,6 b	56,5 a
Zaragoza	8,7 a	12,2 b	29,4 b	51,3 b
LSD	0,76	1,48	3,05	3,10
significación estadística	***	***	***	***

PB: proteína bruta; FND y FAD: fibra neutro detergente y ácido detergente; ALM: almidón. LSD: mínimas diferencias significativas (5%) entre ambientes. *, **, ***: diferencias significativas al $p < 0,05$, $p < 0,01$ y $p < 0,001$, respectivamente; ns: no significativo.

CONCLUSIONES

Se han desarrollado ecuaciones de predicción NIRS válidas para la determinación de proteína bruta, almidón y fibra ácido y neutro detergente en mazorcas de maíz (grano+zuro), orientadas al análisis de la calidad del silo de mazorca en la alimentación animal.

Se han podido clasificar las poblaciones multiplicadas en función de su calidad nutritiva. Entre las poblaciones de la zona húmeda las mejores fueron “Tuy” y “Viana”

que destacaron en todos los parámetros evaluados. Entre las poblaciones de la zona seca peninsular, “Hembrilla” destacó por su alto contenido en almidón y baja concentración de fibra, y entre las poblaciones de las Islas Canarias la mejor fue “Aruca” por su alto contenido en almidón y bajo en fibra. En general las poblaciones canarias mostraron un menor valor nutritivo.

En el ambiente de Tenerife el conjunto de todas las poblaciones alcanzaron los mayores valores de proteína bruta y almidón, así como menores niveles de concentración

de fibra debido a la mayor radiación solar que favoreció la completa formación de la mazorca.

Se han encontrado diferencias significativas entre las poblaciones evaluadas y los ambientes, pero no una interacción significativa entre el ambiente y las poblaciones, excepto para PB, lo que nos indica que las poblaciones mantenían sus diferencias en calidad nutritiva general a pesar de ser multiplicadas en otros ambientes diferentes al de origen y, por lo tanto pueden ser multiplicadas *ex situ* sin que varíe su clasificación relativa en cuanto a su valor nutritivo.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue financiado por el Plan Nacional de I+D+i (INIA RF2010-00004-C04).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC (1990) Official Methods of Analysis, Association of Official Analytical Chemists 15th Edition. Washington, DC

BÁEZ BERNAL M.D., GARCÍA POMAR M., LOURO LÓPEZ A. Y CASTRO INSÚA J. (2013) Producción y composición química de forraje en rotaciones de maíz con varios cultivos de invierno. En: SEEP (Eds) *Los Pastos: nuevos retos, nuevas oportunidades*, pp 187-194. Badajoz, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.

FEDNA (2000) Almidón. Método polarimétrico (EWERS). España.

GARCÍA POMAR M. I., BÁEZ BERNAL M.D., LOURO LÓPEZ, A. Y CASTRO INSÚA J. (2011) Comparación en maíz forrajero de la fertilización tradicional con los nuevos fertilizantes nitrogenados. En: SEEP (Eds) *Pastos, paisajes culturales entre tradición y nuevos paradigmas del siglo XXI*, pp 249-255. Madrid, España: Sociedad Española Para el Estudio de los Pastos.

GOERING J.K. Y VAN SOEST P.J. (1970) Forage fibre analysis (apparatus, reagents, procedures, and some applications). Agric. Handbook No. 379. ARS-USDA, Washington DC.

LYNCH J.P., O'KIELY P. Y DOYLE E.M. (2012) Yield, quality and ensilage characteristics of whole-crop maize and of the cob and stover components: harvest date and hybrid effects. *Grass and Forage Science*, 67, 472-487.

MOUAZEN A.M., SAEYS W., XING J., DE BAERDEMAEKER J. Y RAMON H. (2005) Near infrared spectroscopy for agricultural materials: an instrument comparison. *J. Near Infrared Spectrosc.*, 13, 87-97.

SZYSZKOWSKA A., SOWINSKI J. Y WIERBICKI H. (2007) Changes in the chemical composition of maize cobs depending on the cultivar, effective temperature sum and farm type. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 6(1), 13-22.

THOMAS E.D., MANDEBVU P., BALLARD C.S., SNIFFEN C.J., CARTER M.P. Y BECK J. (2001) Comparison of corn silage hybrids for yield, nutrient composition, *in vitro* digestibility, and milk yield by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84, 2217-2226.