

EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE GENOTIPOS DE MAÍZ FORRAJERO PARA SU INTRODUCCIÓN EN CULTIVO ECOLÓGICO

L. CAMPO, A.B. MONTEAGUDO Y J. MORENO-GONZÁLEZ¹.

¹Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (CIAM). Instituto Galego de Calidade Alimentaria (INGACAL). Apartado 10. 15080 A Coruña

RESUMEN

En el año 2009 se desarrolló un ensayo dónde se evaluaron dieciseis genotipos de maíz en tres sistemas de producción (SP): laboreo convencional (LC), laboreo ecológico fertilizado con purín de vacuno (LE-PV) y laboreo ecológico fertilizado con purín de cerdo (LC-PC). Los objetivos de este trabajo fueron: (1) Comparar los efectos del SP y del abonado (orgánico e inorgánico) en la producción, los caracteres agronómicos y la calidad nutritiva de los genotipos, (2) Determinar cuales serían los mejores genotipos en condiciones de cultivo ecológico. Los resultados mostraron que el rendimiento fue superior en LC (14,2 tMS/ha) que en el sistema ecológico, y dentro de este fue superior en la fertilización con purín de vacuno (13,1 tMS/ha) que con el de cerdo (12,1 tMS/ha). La calidad nutritiva también fue superior en LC que en LE. A pesar del mayor rendimiento y calidad nutritiva del LC frente al ecológico, los genotipos “Oia”, “Ribadumia x EC49A”, “Pontearreas” y “Pontearreas x EC49A” obtuvieron una producción de materia seca (PMS) y producción de materia orgánica digestible (PMOD) superiores o iguales en LE-PV frente al LC, mientras que “Covelo” fue el único genotipo cuya producción y calidad nutritiva fue superior en LE-PC.

Palabras clave: *Zea mays* L., purin , producción de materia seca, calidad nutritiva.

INTRODUCCIÓN

Las explotaciones de vacuno de leche de Galicia tienden a intensificar su producción a fin de ser más competitivas en el mercado. Esta intensificación conlleva dos grandes problemas: los costes económicos por la compra de forrajes o piensos concentrados y los problemas ambientales por la acumulación de grandes cantidades de purín y estiércol. Estos problemas pueden evitarse en gran parte con la producción del forraje en la propia explotación, siendo el maíz forrajero un cultivo altamente productivo y energético, y usando el purín como abono orgánico que además de evitar el problema ambiental conlleva un gran ahorro en fertilizantes minerales. Si a esto añadimos la producción dentro de un sistema ecológico conseguimos un producto con mayor valor añadido y, por lo tanto, mayor precio en el mercado.

Por otra parte la producción de maíz ecológico en Galicia implica el desarrollo y la mejora de poblaciones con capacidad para producir un rendimiento aceptable y una buena calidad en base a una fertilización orgánica, la supresión de herbicidas y de insecticidas. Es decir, se necesita identificar y mejorar genotipos con buen rendimiento y calidad forrajera y que además presenten un buen comportamiento en condiciones de cultivo ecológico.

En base a estas premisas los objetivos propuestos en este trabajo son: (1) comparar los efectos del tipo de laboreo y del abonado en la producción, los caracteres agronómicos y la calidad forrajera de 16 genotipos de maíz forrajero, (2) determinar cuales serían los mejores genotipos en condiciones de cultivo ecológico.

MATERIAL Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en Mabegondo (A Coruña) en el año 2009. El diseño experimental fue un Split-plot con tres repeticiones donde las parcelas principales representaron el sistema de producción (SP): laboreo convencional (LC), laboreo ecológico fertilizado con purín de vacuno (LE-PV) y laboreo ecológico fertilizado con purín de cerdo (LE-PC) y las subparcelas los genotipos de maíz. Cada parcela elemental estaba compuesta por dos surcos con una superficie total de 12,8 m². Los genotipos de maíz evaluados fueron 9 variedades locales, 2 cruzamientos de variedades locales por líneas puras del CIAM, dos poblaciones y tres híbridos testigos pertenecientes a los ciclos 200-400. El origen de los genotipos queda especificado en la Tabla 1.

El cultivo precedente al ensayo fue una mezcla de guisante-triticale. La preparación del terreno antes de la siembra fue la convencional incluyendo las operaciones de bancada de discos y arado de vertederas. La siembra se realizó con una sembradora de precisión a una densidad final de 9 pl/m².

El abonado en la parcela de LC consistió en un aporte de 125 kg/ha de N, 150 de P₂O₅ y 250 de K₂O en la preparación del terreno para la siembra y de 75 kg/ha de N en cobertera cuando las plantas presentaban entre 40-50cm de altura. El control de malas hierbas se realizó con tratamientos de herbicida en preemergencia. Las parcelas de LE, se fertilizaron con dos pases de purín de tal manera que el aporte final de nutrientes fue de 200 kg/ha de N, 103 de P₂O₅ y 281 de K₂O, a fin de conseguir igualar en lo posible el aporte de N en la totalidad del ensayo. Para el control de malas hierbas se realizó un gradeo con grada de púas “Verticator” cuando la planta de maíz tenía una altura de 4-5cm y una posterior escarda con cultivador “Guerra” cuando la altura de la planta era de 15 a 20cm (Piñeiro *et al*, 2002).

Tabla 1: Procedencia y pedigree de los genotipos empleados en el ensayo

Genotipo	Origen
Izoria	Variedad local BG CIAM, Alava
Pontearreas	Variedad local BG CIAM, Pontevedra
NK THERMO	Testigo oficial OEVV
Mondoñedo	Variedad local BG CIAM, Lugo
SG1S0	Autofecundación de un sintético precoz liso por recombinación de 12 LP, CIAM
ANJOU 290	Testigo oficial OEVV
Oia	Variedad local BG CIAM, Pontevedra
Mondariz	Variedad local BG CIAM, Pontevedra
Lira	Variedad local BG CIAM, A Coruña
SG2S0	Autofecundación de un sintético precoz dentado por recombinación de 11 LP, CIAM
Covelo	Variedad local BG CIAM, Pontevedra
H1	Híbrido experimental, CIAM.
Ribadumia	Variedad local BG CIAM, Pontevedra
PontearreasxEC49A	Cruce entre variedad local y una LP gallega, CIAM
RibadumiaxEC49A	Cruce entre variedad local y LP gallega, CIAM
Ataún	Variedad local BG CIAM, Guipuzcoa

En la fase vegetativa se tomaron datos de vigor temprano y tardío (VTE y VTA), floración femenina y masculina en días transcurridos desde la siembra hasta la floración (FFEM y FMAS), altura total de la planta en cm (HTOT), altura de la planta hasta la inserción de la hoja de la mazorca en cm (HMAZ), porcentaje de plantas caídas en el momento de la recolección (ENC) y presencia de malas hierbas en t/ha (MH). El control de las malas hierbas se realizó cortando toda la vegetación presente entre los dos surcos de cada genotipo de maíz y midiendo su peso en verde. El análisis de varianza

del encamado y las malas hierbas se realizó con los valores transformados, debido a que los errores experimentales no guardan una distribución normal.

La recolección se realizó cuando el contenido de materia seca se encontraba en torno al 35%. En la cosecha se tomaron los datos de peso total de la parcela de cada genotipo en cada tratamiento mediante una cosechadora de precisión con el fin de conocer la producción de materia seca (PMS, t/ha). El contenido de materia seca se determinó por desecación en estufa de aire forzado a 80°C durante 16h en una muestra de 300g. Posteriormente las muestras secas fueron molidas mediante un molino Christy y Norris 8'' con tamiz de 1mm y se analizaron por Espectroscopia de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS). Las ecuaciones de predicción utilizadas para el análisis NIRS fueron desarrolladas en el CIAM (Campo *et al*, 2007) para evaluar todos los caracteres de calidad nutritiva propuestos para planta entera, excepto la digestibilidad de la materia orgánica *in vitro* (IVMOD). Por ello, la digestibilidad se calculó mediante la suma de las digestibilidades de la mazorca y parte verde y la proporción que ocupan cada una de ellas en la planta entera. En el análisis estadístico se realizó un análisis del Split-plot utilizando el programa SAS (SAS Institute inc., 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracteres agronómicos

Tabla 2: Medias de los parámetros de valor nutritivo y agronómicos en 3 sistemas de producción

	Sistema de producción			LSD(5%)	Significación estadística
	LC	LE-PC	LE-PV		
MO	96,3 b	96,8 a	96,4 b	0,35	*
PB	6,0 a	4,9 b	4,5 b	0,41	***
FND	48,1 a	45,7 b	48,0 a	1,18	**
FAD	24,3 a	23,2 b	25,1 a	1,04	*
ALM	30,9 b	36,1 a	31,6 b	2,73	*
IVMOD	69,2 a	67,7 b	67,7 b	0,59	**
VTE	3,9 a	4,1 a	4,1 a	0,51	ns
VTA	4,1 a	4,3 a	4,3 a	0,70	ns
FFEM	76,5 a	75,9 b	76,8 a	0,54	*
FMAS	76,6 a	75,4 b	76,6 a	0,86	*
HTOT	265,4 a	254,1 b	266,0 a	9,04	*
HMAZ	114,2 a	107,4 b	114,1 a	6,32	*
MH	0,7 a	1,5 b	1,3 b	0,33	**
ENC	1,8 a	1,2 b	1,2 b	0,32	**
NPL	8,1 a	7,6 a	8,3 a	0,85	ns
MS	35,2 b	38,9 a	33,9 b	2,59	*
PMS	14,2 a	12,1 c	13,1 b	0,88	**
PMOD	9,5 a	7,9 b	8,5 b	0,67	**

MO: materia orgánica; PB: proteína bruta; FAD, FND: fibra ácido y neutro detergente; IVMOD: digestibilidad de la materia orgánica *in vitro*; ALM: almidón. Todos los caracteres estimados sobre materia seca (%). VTE, VTA: vigor temprano y tardío; FFEM, FMAS: floración femenina y masculina (días); HTOT, HMAZ: altura total de la planta y hasta el nudo de inserción de la hoja de la mazorca (cm); MH: malas hierbas (t/ha transformado); ENC: encamado (% transformado); NPL: n° de plantas/m²; MS: materia seca (%). PMS: producción de materia seca (t/ha); PMOD: producción de materia orgánica digestible (tMOD/ha). LSD(5%): mínimas diferencias significativas entre sistemas de producción. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas.

Niveles de significación: * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$; ns: no significativo ($P > 0,05$).

En el análisis estadístico (Tabla 2), encontramos diferencias significativas entre los SP para la mayoría de los caracteres agronómicos: floraciones (FFEM, FMAS), altura total y hasta la mazorca de la planta (HTOT y HMAZ), contenido de materia seca (MS), siendo estas diferencias significativas

entre LE-PC frente a LC y LE-PV que presentaron un similar crecimiento vegetativo y contenido de MS en recolección. Las diferencias en el encamado y las malas hierbas presentes en los diferentes SP también fueron significativas observando un menor número de malas hierbas en LC (0,7 kg/ha) pero también un mayor encamado 1,8 frente a 1,22 y 1,17 de los SP ecológicos, LE-PC y LE-PV respectivamente. En otros trabajos también se han encontrado diferencias significativas en la presencia de malas hierbas entre cultivo convencional y ecológico (Martínez-Martínez et al, 2009). El número de plantas recogidas fue ligeramente inferior a la dosis de siembra, en torno a las 8 pl/m², sin que las diferencias entre SP fueran significativas. Martínez-Martínez et al (2009) si que encontraron diferencias en el número de plantas recogidas entre un sistema de producción convencional y otro ecológico.

En cuanto a las diferencias entre genotipos (Tabla 3), estas solamente fueron significativas para las fechas de floración, la altura total de la planta y el contenido de MS. También encontramos una interacción significativa entre genotipos y sistemas de producción (SP*genotipos) (Tabla 3) para el vigor y el encamado lo que implica que ciertos genotipos tienen menor encamado en un sistema de producción que en otro.

Tabla 3: Cuadrados medios de varios caracteres de valor nutritivo, agronómicos y de producción en 16 genotipos de maíz forrajero para distintas fuentes de variación (FV).

FV	gl	MO	PB	FND	FAD	ALM	IVMOD
Repetición	2	0,16 ns	0,90 ns	7,68 ns	3,05 ns	73,65 ns	87,14 ***
SP	2	3,09 *	29,91 ***	90,37 **	47,19 *	380,67 *	37,78 **
Genotipo	15	0,10 ns	0,68 ns	15,96 ns	6,70 ns	79,36 *	7,01 *
SP*repetición	4	0,38 ns	0,53 ns	4,32 ns	3,37 ns	23,24 ns	1,10 ns
SP*genotipo	30	0,19 ns	0,48 ns	16,92 **	8,43 **	33,83 ns	3,44 ns
LSD (5%)		0,42	0,67	3,96	2,80	5,60	1,79
FV	gl	MH	ENC	NPL	PMS	PMOD	MS
Repetición	2	0,89 ns	0,30 ns	10,39 ns	17,71 *	8,11 ns	71,45 ns
SP	2	7,85 **	5,76 **	6,64 ns	50,56 **	28,47 **	315,82 *
Genotipo	15	0,07 ns	0,40 ns	3,13 ns	6,21 ns	2,72 ns	40,69 **
SP*repetición	4	0,33 ***	0,31 ns	2,27 ns	2,40 ns	1,40 ns	20,86 ns
SP*genotipo	30	0,07 ns	0,50 *	1,59 ns	7,00 *	2,99 *	11,73 ns
LSD (5%)		0,25	0,68	1,21	2,55	1,67	3,30

MO: materia orgánica; PB: proteína bruta; FAD, FND: fibra ácido y neutro detergente; IVMOD: digestibilidad de la materia orgánica in vitro; ALM: almidón. Todos los caracteres estimados sobre materia seca (%).

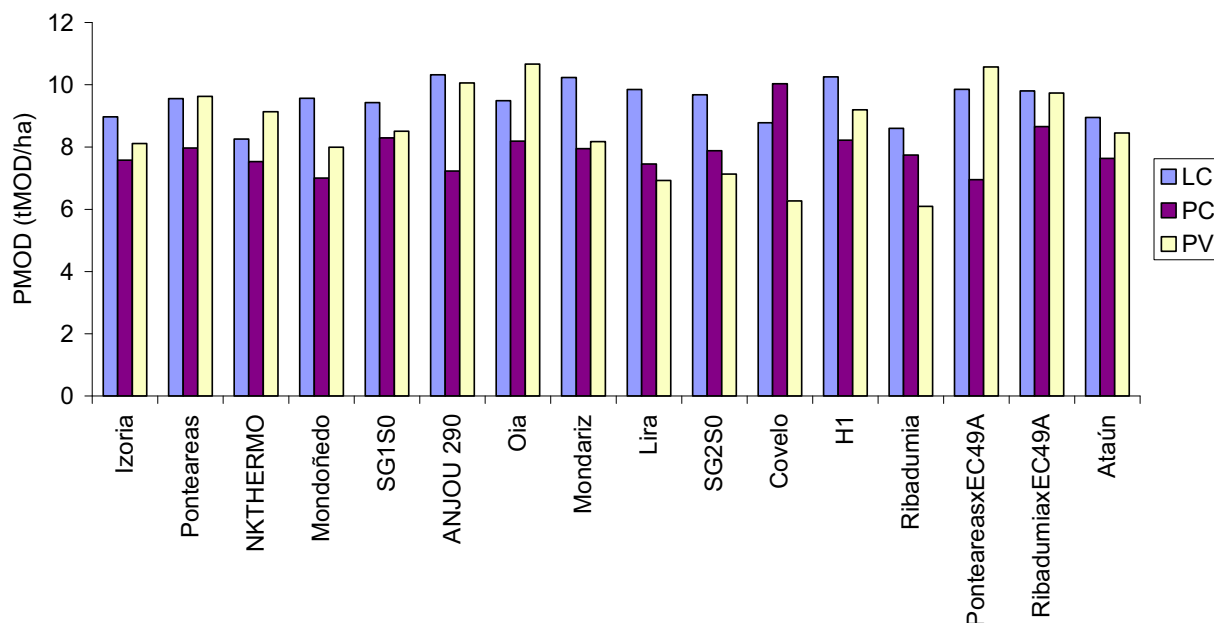
VTE, VTA: vigor temprano y tardío; FFEM, FMAS: floración femenina y masculina (días); HTOT, HMAZ: altura total de la planta y hasta el nudo de inserción de la hoja de la mazorca (cm); MH: malas hierbas (t/ha transformado); ENC: encamado (% transformado); NPL: n° de plantas/m²; MS: materia seca (%). PMS: producción de materia seca (t/ha); PMOD: producción de materia orgánica digestible (tMOD/ha). LSD(5%): mínimas diferencias significativas entre sistemas de producción. SP: sistema de producción;gl: grados de libertad. Niveles de significación: * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$; ns: no significativo ($P > 0,05$).

Parámetros de valor nutritivo, producción de materia seca y materia orgánica digestible de los genotipos en los tres sistemas de producción

En todos los parámetros nutritivos evaluados hallamos diferencias significativas entre los tres sistemas de producción (Tabla 2). En el caso de PB y IVMOD los valores más altos aparecen en LC con un 6 y 69,2%, lo que supone el 22,4 y 2,2 % más de contenido protéico y digestibilidad que los obtenidos en los dos SP ecológicos. Por el contrario los valores más bajos de FAD, FND y los más altos de ALM se encontraron en LE-PC con valores de 23,2, 45,7 y 36,1 % respectivamente. Estos datos coinciden casi en su totalidad con los datos presentados por Martínez-Martínez et al (2009) ya

que estos autores también hallaron valores más altos en PB y FND para un sistema convencional; valores de 29,4% en ALM para un sistema ecológico frente a 24,3% en un sistema convencional y una digestibilidad mayor en ecológico que en convencional; 74,6 frente a 73,5% respectivamente. En nuestro trabajo, los genotipos de maíz han sido evaluados para maíz forrajero, por lo que podemos sugerir que el LC presenta mayor calidad nutricional que los otros dos SP ecológicos, debido en mayor medida a la restricción del uso de fertilizantes de síntesis que al efecto de las malas hierbas.

Figura 1: Producción de materia orgánica digestible (PMOD) de los genotipos en los diferentes sistemas de producción



En cuanto a la producción de materia seca (PMS) las diferencias entre los sistemas de producción fueron altamente significativas ($P < 0,01$), con valores de 14,22 t/ha en LC frente a los 13,08 y 12,10 t/ha alcanzadas en los SP ecológicos de LE-PV y LE-PC respectivamente, lo que supone una reducción en la producción del 8% en el primer caso y 14,9% en el segundo. La presencia de malas hierbas parece haber sido un factor más importante en el desarrollo del cultivo ecológico abonado con purín de cerdo. Martínez y Pedrol (2005) también encontraron una mayor producción en maíz forrajero abonado químicamente que con purín en tres años de ensayos.

La PMOD fue significativamente superior en el SP convencional (9,5%) frente a los dos SP ecológicos (7,9 y 8,5 tMOD/ha en LE-PC y LC-PV respectivamente). Tanto en PMS como en PMOD las diferencias en la interacción SP*genotipo fueron significativas (Tabla 3), lo que implica que ciertos genotipos obtienen mayores producciones en unos sistemas de producción que en otros. En la Figura 1 aparecen reflejadas las PMOD de los diferentes genotipos en los tres sistemas de producción. Se puede apreciar que “Oia”, “Ribadumia x EC49A”, “Ponteareas” y “Ponteareas x EC49A” alcanzaron una PMOD en LE-PV de 10,66; 10,57; 9,63 y 9,73 tMOD/ha, respectivamente. Estas PMOD fueron superiores o iguales a las alcanzadas en LC. “Covelo” fue el único genotipo que cuya PMOD en el SP ecológico de LE-PC fue superior al alcanzado en el SP convencional, 10,03 tMOD/ha frente a las 8,78 tMOD/ha del LC.

CONCLUSIONES

En el desarrollo vegetativo de la planta no encontramos diferencias significativas entre los SP de LC y LE-PV, ya que las plantas fueron similares en altura, floración y vigor. El nivel de malas hierbas fue superior en los dos sistemas ecológicos frente al convencional, pero lo contrario ocurrió con el encamado ya que los valores más altos los encontramos en LC.

La PMS y en general la calidad nutritiva de los genotipos (PB y IVMOD) fueron significativamente más altos en el LC frente a los sistemas de producción ecológicos. Las causas de esta superioridad pueden ser debidas al efecto de las malas hierbas o, en mayor medida, a la menor disponibilidad de nitrógeno con los purines a corto plazo. Este descenso puede verse reducido en sucesivos años de siembra debido al efecto residual del nitrógeno de purín aplicado el año anterior. El LE-PC favoreció el aumento del contenido en almidón y el descenso en el contenido de fibra ácido y neutro detergente.

A pesar de que en LC obtengamos una PMS 8% superior al LE-PV y un 14,9% superior a LE-PC, la interacción existente entre SP*genotipo sugiere que ciertos genotipos funcionen mejor en los SP ecológicos. “Oia”, “Ribadumia x EC49A”, “Pontearas” y “Pontearas x EC49A” obtuvieron PMS y PMOD superiores o iguales en LE-PV frente al LC, mientras que “Covelo” fue el único genotipo cuya producción y calidad nutritiva fue superior en LE-PC. Estos genotipos son unos muy buenos candidatos al cultivo ecológico de maíz forrajero frente a los híbridos comerciales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación recibida de las Acciones de Transferencia de Tecnología Agroforestal (09/08) de la Xunta de Galicia y del INIA, RF07-007-C05 y RTA08-00104.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMPO RAMÍREZ, L.; CASTRO GARCÍA, P.; MORENO-GONZÁLEZ, J., 2007. Calibración NIRS para estimar la digestibilidad de la materia orgánica de la planta entera de maíz en híbridos seleccionados para forraje. En: Los sistemas forrajeros: Entre la producción y el paisaje. Sociedad Española para el Estudio de los Pastos (Eds). Vitoria-Gasteiz (España), 461-467.
- MARTINEZ-MARTINEZ, A.; PEDROL, N. Y MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, A., 2009. Maíz para ensilar cultivado en sistemas de producción convencional o ecológica. En: La multifuncionalidad de los pastos: Producción ganadera sostenible y gestión de los ecosistemas. Reiné, R. *et al.* (Eds). Huesca (España), 391-397.
- MARTINEZ-MARTINEZ, A. y PEDROL, N., 2005. Raigrás italiano y maíz implantados con dos sistemas de siembra y abonados con dos tipos de fertilización. En: Producciones agroganaderas: Gestión eficiente y conservación del medio natural. SERIDA (Eds). Gijón (España), 625-632.
- PIÑEIRO, J.; SUÁREZ, R., DÍAZ, N. Y FERNÁNDEZ, J., 2002. Cultivo de maíz forrajero ecológico. Actas del V Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica y I Congreso Iberoamericano de Agroecología, 1253-1261.
- SAS Institute Inc., 1999. *SAS/Stat User`s Guide, Version 8*, Cary INC: SAS Institute Inc.

**AGRONOMIC EVALUATION OF FORAGE MAIZE GENOTYPES FOR INTRODUCTION
IN ECOLOGICAL PRODUCTION**

SUMMARY

In 2009 we carried out a trial where sixteen maize genotypes were evaluated in three tillage systems (TS): conventional tillage (CT), ecological tillage fertilized with dairy slurry (ET-DS) and ecological tillage fertilized with pig slurry (ET-PS). The objectives of this study were: (1) to compare the effects of three TS and type of fertiliser (organic and inorganic) for yield, agronomic characteristics and nutritive quality of genotypes, (2) to determine the best genotypes in terms of organic farming. Yield and nutritional quality traits were, in general, higher in conventional than in ecological tillages. Within ecological production systems, fertilized with dairy slurry was superior to that with pig slurry. Some of genotypes cultivated under ET-DS, "Oia", "Ribadumia x EC49A", "Pontareas" and "Pontareas x EC49A", yielded some or higher dry matter and digestible organic matter than under CT. "Covelo" was the only genotype whose production and nutritive quality was higher in ET-PS than in the other systems.

Key words: *Zea mays* L., slurry, dry matter yield, nutritive quality.