



Cultivares de maíz forrajero en Galicia: herramientas para asegurar la cosecha frente a un clima variable

En las siguientes páginas mostramos los resultados de nuestra investigación, cuyo objetivo fue evaluar el comportamiento agronómico y la interacción genotipo-ambiente (GxA) de 50 cultivares de maíz forrajero en cuatro localidades de Galicia, evaluados tres o más años en el periodo 1999-2024, proporcionando una base de datos esencial para el sector lácteo gallego.

J.A. Oliveira¹, M.J. Bande², O. Murillo³

¹Área de Producción Vegetal, Departamento de Biología de Organismos y Sistemas, Universidad de Oviedo (Asturias)

²Área de Servicios Agrarios Becerreá, Consellería del Medio Rural, Xunta de Galicia (Galicia)

³Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal, Campus Tecnológico Central Cartago, Costa Rica

INTRODUCCIÓN

La producción española de maíz forrajero se concentra en el Norte de España: Galicia, Asturias y Cantabria se sitúan como principales regiones productoras con 74.432 ha, 7.644 ha y 4.368 ha respectivamente (MAPA, 2024). Estas tres regiones representan el 90 % la superficie española de maíz forrajero.

En 1999, en colaboración con empresas productoras de semillas, se inició en Galicia un proceso de eva-

luación de cultivares comerciales de maíz híbrido para ensilado por parte del Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (CIAM) y, desde entonces, se vienen evaluando año tras año en cuatro zonas de Galicia (Bande, 2025). Habitualmente, los ensayos de evaluación de cultivares comerciales no son perfectamente equilibrados, es decir, no todos ellos están presentes en todos los sitios ni en los mismos años de evaluación; además, continuamente se añaden

nuevos cultivares más modernos cada año, lo que da lugar a bases de datos más complejas de analizar.

Debido a la alta variación interanual de los resultados a causa de los cambios en la climatología entre años (temperaturas, precipitaciones, etc.), es importante disponer de datos de más de un año para caracterizar agronómicamente un cultivar.

Elegir la semilla de maíz adecuada para una finca en Galicia no es



► ELEGIR LA SEMILLA DE MAÍZ ADECUADA PARA UNA FINCA EN GALICIA NO ES TAREA FÁCIL, YA QUE LO QUE FUNCIONA EN LA COSTA PUEDE FALLAR EN EL INTERIOR. PARA AYUDAR AL AGRICULTOR A DECIDIR CON DATOS REALES, LA CIENCIA UTILIZA HOY LOS MODELOS MIXTOS

tarea fácil, ya que lo que funciona en la costa puede fallar en el interior. Para ayudar al agricultor a decidir con datos reales, la ciencia utiliza hoy los modelos mixtos. Esta tecnología permite separar qué parte del éxito de una cosecha se debe a la calidad de la semilla (genética) y cuánto depende del clima, del suelo, del manejo en cada comarca, asegurando que el híbrido elegido rinda al máximo en su zona.

Los modelos mixtos permiten comparar variedades que se plantaron en años o fincas diferentes de forma justa, como si todas hubiesen competido en las mismas condiciones.

Estos modelos aprovechan los datos de múltiples ensayos, por ejemplo, los del Centro de Investigaciones Agrarias de Magegondo (CIAM), para dar resultados fiables en toda la comunidad. No se busca solo el maíz que más produzca en un año bueno, sino el que “aguanta el tipo” cuando el verano viene seco o demasiado húmedo. Esto hace que haya menor riesgo de equivocación al escoger el cultivar y perder dinero en la campaña.

Uno de los mayores problemas en la selección de genotipos (cultivares) con una alta productividad en diferentes ambientes (localidades, años...) es la



interacción genotipo-ambiente (GxA), lo cual dificulta la identificación de los cultivares superiores. Los nuevos cultivares, además de tener una buena producción/rendimiento, deberán tener una buena estabilidad (capacidad de comportarse bien en una gran ►



OFICINA CENTRAL
C/ Teso de la Feria, 35
37800 Alba de Tormes (Salamanca)
923 370 451 - 923 300 228
667 499 801
tomas.perez@oleokelsa.es

OLEO MAÍZ SEEDS

CICLO LARGO

- ASTON**. Silo, grano y resistencia a sequía
- LORINOR**. *Novedad*. Silo grano y almidón

CICLO MEDIO:

- OLEOMAÍZ 538**. 126 días y supera a todos en kilos, almidón y resistencia a sequía
- OLEOMAÍZ 405**. Bajito, productivo y mucha calidad
- GEPPETO**. Para silo de verdad.

CICLO MEDIO LARGO:

- IDANIKO**. Sin límite para silo y grano húmedo
- SONORA**. *Novedad*. 136 para superar todos los mitos.
- OLEOMAÍZ 538**. 126 días y supera a todos en kilos, almidón y resistencia a sequía

CICLO CORTO:

- OLEOMAÍZ 335**. Sin duda el maíz más productivo del mercado. Kilos, almidón fibra y resistencia a la sequía.

- INSPIRIA**. Ciclo muy corto y adaptado

www.oleokelsa.es

Oleokelsa

Con el agricultor y el ganadero

amplitud de condiciones ambientales) y adaptabilidad (cultivares que responden bien tanto en ambientes de baja como de alta productividad). A mayor estabilidad y adaptabilidad genética de los cultivares, menor interacción GxA.

Para identificar cuáles son los mejores cultivares en la mayor cantidad de condiciones ambientales se utilizan herramientas y procedimientos estadísticos modernos que permiten separar el efecto genético del efecto del ambiente (Henderson, 1975; Piepho *et al.*, 2008).

Estos procedimientos permiten identificar los cultivares verdaderamente superiores por su valor genético y no por su apariencia visual, que podría estar influenciada por factores del ambiente (año más seco versus año lluvioso, etc.). Los valores fenotípicos son los que se miden directamente en el campo, mientras que los valores genéticos se obtienen del análisis estadístico y riguroso de los datos, libres del “ruido” ambiental (efectos ambientales y de manejo).

Para la selección simultánea de cultivares con valores altos de producción, estabilidad y adaptabilidad, Resende (2007) propuso utilizar la Media Armónica del Rendimiento Relativo (%) de los Valores Genéticos (MHPRVG). Este método se ha probado útil con diferentes cultivos, como es el caso del maíz y con especies forrales (Mendes *et al.*, 2012; Murillo *et al.*, 2019; Oliveira y Bande, 2024).

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios experimentales

Esta evaluación de cultivares de maíz se realizó en ensayos experimentales de campo en cuatro lugares de Galicia: 1) Ordes (43,0432, -8,4458, 300 m.s.n.m.), 2) Ribadeo (43,5458, -7,0816, 43 m.s.n.m.), 3) Sarria (42,8194, -7,3758, 520 m.s.n.m.) y 4) Deza (43,6995, -8,3192, 400 m.s.n.m.) durante tres o más años en el periodo 1999-2024.

Los suelos de los ensayos en Ribadeo, situado en A Mariña Oriental (nordeste de Lugo), Ordes (centro de A Coruña) y Deza tienen una textura franco-arenosa, siendo el suelo de Ribadeo sobre pizarras y los de Ordes y Deza sobre esquistos. En cambio, el suelo de los ensayos de Sarria tiene una textura franco-arcillo-arenosa y son suelos de pizarras.

Los datos meteorológicos se obtuvieron de las estaciones meteo-



► PARA LA SELECCIÓN SIMULTÁNEA DE CULTIVARES CON VALORES ALTOS DE PRODUCCIÓN, ESTABILIDAD Y ADAPTABILIDAD, RESENDE (2007) PROPUSO UTILIZAR LA MEDIA ARMÓNICA DEL RENDIMIENTO RELATIVO (%) DE LOS VALORES GENÉTICOS (MHPRVG)

rológicas más cercanas a los campos experimentales a través de la página web de MeteoGalicia (www.meteogalicia.gal) y se presentan en la tabla 1 (pág. sig.). Deza y Sarria presentan veranos con temperaturas máximas más altas y una mayor oscilación térmica. La planta acumula los grados-día necesarios (Integral térmica) para la maduración del maíz mucho más rápido que en Ordes y Ribadeo.

Cada experimento de campo incluyó la preparación del suelo, la fertilización, la siembra de los cultivares en las parcelas y los tratamientos fitosanitarios. La siembra se realizó manualmente en las fechas habituales (entre finales de abril y mediados de mayo en Ribadeo y durante todo el mes de mayo en las demás zonas).

En el periodo 1999-2024 se evaluaron en total 472 cultivares (Bande, 2025), pero solo se consideraron en este trabajo los cultivares evaluados en las cuatro localidades y durante tres o más años; en total, 50 cultivares, que se describen en la tabla 2 (pág. sig.). Los cultivares “Clarica” y Pharaon” se consideran cultivares testigos en los ensayos de evaluación de cultivares de maíz forrajero en Galicia.

Como cultivo de invierno se sembró cada año una mezcla de raigrás

italiano con tréboles anuales para realizar un ensilado en primavera antes de la siembra del maíz.

Previamente a la siembra del maíz, se aplicaron 200 kg N ha⁻¹ junto con las enmiendas calizas y abonado fosfopotásico necesarios según los resultados de los análisis previos del suelo, para compensar las extracciones por el cultivo de invierno en rotación con el maíz.

La densidad de plantación inicial fue de 180.000 plantas ha⁻¹. Cuando las plantas alcanzaron unos 20 cm de altura, se realizó un aclareo para alcanzar la densidad final de 90.000 plantas ha⁻¹.

El maíz forrajero para su conservación como ensilado se debe recoger cuando la concentración de materia seca de todo el cultivo se sitúa entre el 30 % y el 35 %, intervalo en el que se alcanza el momento óptimo para producir ensilado (Khan *et al.*, 2015). El momento ideal para ensilar se considera cuando el estado medio del grano de las mazorcas para cada cultivar alcanza el estado de grano pastoso-vítreo, con la línea de leche (línea del almidón) situada entre 1/3 y 1/2 de la distancia entre la corona y el ápice del grano (Bande, 2025). La altura de corte de las plantas de maíz fue de 20-25 cm por encima de la superficie del suelo. ►

IMPLACABLE CONTRA ORUGAS, RESPECTUOSO CON LA FAUNA ÚTIL

Coragen® 20SC

Control de insectos

Con la potencia de

RYNAXYPYR®

Ingrediente activo

La **Experiencia** del **LÍDER**
y la **Referencia** con **mayor**
persistencia para el
control de **rosquilla**
y **taladro** del **maíz**.

LA UNICA SOLUCIÓN DEL MERCADO CON TEFLUTRIN Y STARTER

Fengress®

Insecticida microgranulado
para aplicación en suelo

Exclusividad de FMC:
un **Starter** con **insecticida**
efecto **VAPOR**.

Tabla 1. Datos meteorológicos medios mensuales observados durante los períodos de evaluación (1999-2024) en las fincas experimentales de Ordes, Ribadeo, Sarria y Deza (Galicia)

Variable Meteorológica	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año
Ordes													
TM_Max.(°C)	15,4	16,8	20,4	23,0	26,6	29,8	31,9	32,7	31,3	25,9	19,2	15,8	34,4
TM_Min.(°C)	0,9	1,4	2,0	3,7	6,3	9,0	11,0	11,7	9,9	7,4	4,2	1,2	-0,5
Radiación solar (MJ m ⁻² d ⁻¹)	5,2	8,5	12,8	17,5	20,9	22,2	22,6	20,0	15,3	9,3	6,3	5,1	13,9
Lluvia (mm)	155,0	110,3	128,3	108,9	80,4	54,9	32,5	41,4	60,6	174,0	173,5	175,4	1.295,4
Ribadeo													
TM_Max.(°C)	16,1	17,7	21,4	23,9	27,2	30,2	31,4	32,6	30,6	26,6	20,2	16,8	34,3
TM_Min.(°C)	2,1	2,2	2,4	4,1	6,6	9,5	11,9	12,4	10,5	8,1	4,7	2,3	0,7
Radiación solar (MJ m ⁻² d ⁻¹)	5,3	8,3	12,5	16,4	19,5	20,8	21,4	19,1	15,2	9,8	6,0	4,6	13,3
Lluvia (mm)	108,2	81,5	85,6	80,8	63,2	53,2	28,9	35,9	49,7	114,0	131,9	117,3	950,2
Sarria													
TM_Max.(°C)	14,6	16,4	20,7	23,6	27,8	32,9	35,9	36,2	33,1	26,8	18,8	14,9	37,5
TM_Min.(°C)	-2,6	-2,2	-1,7	0,2	3,3	6,3	8,8	9,0	7,0	4,2	0,3	-2,4	-4,0
Radiación solar (MJ m ⁻² d ⁻¹)	5,9	9,3	13,2	17,3	21,1	23,5	24,9	22,1	16,7	10,5	6,5	5,1	14,7
Lluvia (mm)	112,0	82,8	93,7	82,8	62,7	48,0	25,9	31,1	48,4	127,7	127,4	127,4	969,8
Deza													
TM_Max.(°C)	14,8	16,7	20,3	23,6	28,2	32,4	35,7	36,4	33,4	26,8	18,9	15,4	37,4
TM_Min.(°C)	-2,2	-1,8	-1,0	1,1	4,0	7,2	8,8	9,4	7,6	4,7	0,8	-1,7	-3,4
Radiación solar (MJ m ⁻² d ⁻¹)	5,9	9,3	13,3	17,9	21,4	23,5	24,3	21,6	16,6	10,4	6,6	5,1	14,7
Lluvia (mm)	137,6	97,3	116,5	102,2	74,4	50,7	28,6	35,8	58,8	161,9	152,8	159,5	1.176,1

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. Las subparcelas elementales de evaluación tenían una superficie de 11,7 m² con tres líneas de 6,5 m de longitud y una separación entre líneas de 0,6 m. El muestreo en el momento de la cosecha se realizó recolectando las plantas en pie existentes en 5 m de longitud de la línea central por parcela. Se separaron al azar diez plantas de las cosechadas en cada parcela. De cada una de estas plantas se separó la mazorca (granos + raquis) y el follaje (tallos + hojas + espigas de las mazorcas).

Las mazorcas y el follaje se picaron independientemente con una picadora eléctrica. Con el material picado por separado, las fracciones de mazorcas y follaje se secaron en una estufa de circulación de aire a una temperatura de 80 °C hasta peso constante para determinar el peso seco de las mazorcas y el del follaje. Posteriormente, las muestras de las dos fracciones se molieron en un molino de martillos “Christy and Norris” 8” a un tamaño de partícula de 1 mm y se enviaron al Laboratorio de Pastos y Cultivos del CIAM donde se determinaron los diferentes parámetros ►

Tabla 2. Cultivares de maíz forrajero (híbridos), casas comerciales y número de años de evaluación en cuatro localidades de Galicia durante el periodo 1999-2024

Orden	Cultivar	Nombre	Casa comercial	N.º de años
1	1	CLARICA	Pioneer	5
2	3	PHARAON	Advanta	6
3	6	VIPER	Advanta	3
4	12	MAGELLAN	Clemente	3
5	13	MAGISTER	Syngenta	3
6	50	BELONIA	Pioneer	3
7	52	DK282	De la Riva	3
8	53	PERSEO	Rocalba	3
9	56	PROSILAGE	Rocalba	3
10	65	EXCELLIS	Euralis (Lidea)	3
11	69	ALTEZA	Semillas Batlle	3
12	70	GOLDARIS	Koipesol	4
13	77	EUROSTAR	Euralis (Lidea)	3
14	80	MACHERO	Batlle	3
15	83	RELAX	MAS Seeds	3
16	87	NIRVANA	IS	3
17	106	COSMIC	Agrar	3
18	107	ORESTE	MAS Seeds	4
19	109	ABONDANCE	Syngenta	4
20	112	LG2265	Limagrain	3
21	114	AMPLI	Semade	3
22	158	ES PAROLI	Arlesa	3
23	172	DIXXMO	De la Riva	3
24	180	STERN	Koipesol	3
25	182	PUCCINI	Caussade Semillas	3
26	202	RULEXX	RAGT	3
27	204	BRANDY	Nuter Feed	3

Lidea

LA INNOVACIÓN EN MAÍZ



LID 6130C CICLO MEDIO
Nº 1 SERIDA (Asturias, Zona
Costa occidental)



BERLIOZ CICLO MEDIO
Nº 1 MILHO FORRAXEIRO
CIAM-MABEGONGO



IZZLI CICLO MEDIO-CORTO
ÉXITO EN TODO TIPO DE PARCELAS

NEW

DROMEDARY WX
CICLO MEDIO-CORTO
PRODUCCIÓN, CALIDAD Y
SANIDAD



LID 4111C CICLO CORTO
EL MAÍZ QUE QUIEREN TUS VACAS

METHOD CICLO CORTO
LA VARIEDAD QUE NUNCA FALLA



MÁS INFORMACIÓN



Hydro Master
Lidea

Hydro Master identifica a los
híbridos más eficientes en el uso del
agua.

químicos mediante el método NIRS (*Near Infrared Reflectance Spectroscopy*: espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano).

En total, se evaluaron las 12 variables siguientes: rendimiento en materia verde (RMV, t ha⁻¹), porcentaje de materia seca (MS, %), rendimiento en materia seca (RMS, t ha⁻¹), porcentaje de materia orgánica (MO, %MS), porcentaje de la mazorca respecto a la materia seca de la planta entera (espiga, %MS planta entera), porcentaje de proteína bruta (PB, %MS), porcentaje de fibra ácido detergente (ADF, %MS), porcentaje de la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (IVOMD, %), rendimiento en materia orgánica digestible (RMOD = RMS * MO/100 * IVOMD/100, t ha⁻¹), carbohidratos no estructurales totales (CNET, %MS), altura de la planta desde el suelo hasta el ápice de la inflorescencia masculina (penacho) justo antes de la cosecha (cm) y días entre la siembra y la recolección (S-C, días).

Se consideró solo la variable RMOD en el análisis con modelos mixtos, debido a que es una variable de alta importancia económica, que combina la producción de materia seca con la digestibilidad de la materia orgánica. Es, en esencia, la medida real de cuánta energía aprovechable por hectárea está produciendo un cultivo de maíz.

El cultivo del maíz forrajero en Galicia se realiza en secano sin riego, por lo que las producciones obtenidas en los ensayos de campo no se pueden considerar producciones potenciales, pues pudo haber ocurrido alguna limitación de agua por falta de lluvia durante el ciclo del cultivo del maíz. La producción potencial de un genotipo (cultivar) es el rendimiento máximo teórico que puede alcanzar en condiciones de cultivo ideales, sin ningún tipo de estrés biótico o abiótico. Este rendimiento viene determinado por el potencial genético, la radiación solar y las condiciones de temperatura de la zona de ensayo.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos se analizaron mediante el procedimiento de modelos mixtos, utilizando la metodología de Máxima Verosimilitud Restringida (REML) del *software* SELEGEN (Resende, 2016) para obtener la mejor predicción de los valores genéticos (BLUP).

Orden	Cultivar	Nombre	Casa comercial	N.º de años
28	208	HAPPI	Semillas Battle	3
29	210	BONPI	Nuter Feed	3
30	213	MANACOR	Fito	3
31	218	LG 33.85	LG	3
32	219	DK 315	Monsanto	3
33	232	GLADI	Nuter Feed	3
34	244	PHILEAXX	RAGT	3
35	247	ZP 409	WAM	3
36	274	AMADEO	KWS	4
37	283	MAS 35.K	Euralis (Lidea)	3
38	298	SY SAVIO	Syngenta	3
39	299	SY SENKO	Syngenta	3
40	318	ES TOLERANCE	AGV-XESGA	3
41	321	DARIDOR	Battle	3
42	324	QUATRO	Battle	3
43	326	DKC 4621	Monsanto	3
44	371	FREEMAN	MAS Seeds	3
45	375	CODIBLUES	Battle	3
46	378	KIDEMOS	KWS	4
47	405	VOLOS	Semillas Fitó	3
48	406	SY INFINITE	Koipesol	3
49	407	MAS 400.D	MAS Seeds	4
50	437	MAS 431.B	MAS Seeds	3

La selección de los genotipos superiores se basó en el índice de Media Armónica del Rendimiento Relativo de los Valores Genéticos (MHPRVG), el cual permite la selección simultánea por productividad, adaptabilidad y estabilidad. La precisión experimental se evaluó a través de los parámetros exactitud (Acgen) y el coeficiente de variación genética (CVgi%).

Para la visualización de la complejidad de la interacción GxA en la variable RMOD, el *ranking* de los cultivares basado en los valores genéticos obtenidos para cada cultivar en cada localidad y en el análisis conjunto se dividió en tres grupos: valores genéticos altos (fondo amarillo), valores genéticos medios (fondo blanco) y valores genéticos bajos (fondo verde). La división en grupos se hizo como: (valor genético más alto-valor genético más bajo)/3, según Resende *et al.*, (2018).

Si se observan cambios en el *ranking* de cultivares entre dos localidades dentro del mismo grupo, la interacción GxA se considera de baja magnitud y de tipo simple. También puede considerarse como una interacción GxA de tipo simple cuando se observan cambios de mayor magnitud en el *ranking*, pero los cultivares se localizan en el siguiente subgrupo.

La interacción GxA de tipo complejo se refiere a aquellos cultivares

que exhiben cambios drásticos en su posición dentro del *ranking* al evaluarse en distintas localidades, como es el caso de cultivares que se sitúan en el subgrupo de bajos rendimientos en una localidad y en el grupo de altos rendimientos en otra localidad. Este tipo de cultivares es poco confiable, de baja estabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza y parámetros genéticos

En la tabla 3 (pág. sig.) se presentan los valores medios para cada una de las 12 variables estudiadas en los 50 cultivares evaluados en cuatro localidades y durante tres o más años de evaluación.

El análisis de devianza (LRT) en la variable RMOD reveló diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) tanto para los genotipos (cultivares) como para la interacción GxA (tabla 4, pág. 118).

Debido a que la interacción GxA fue significativa, esto indicó que hay una variabilidad en la producción de materia orgánica digestible de los genotipos en los diferentes ambientes (localidades). Por lo tanto, parece interesante estudiar la estabilidad y la adaptabilidad de los genotipos con el fin de recomendar los mejores genotipos (cultivares) para todos los ambientes evaluados. ►►

¿Proteger
y cuidar
tus cultivos
de maíz?

Sí, junto a ti



EL CENTRO DE TU ESTRATEGIA

- **Innovación:** fórmula patentada que prolonga el efecto herbicida y selectividad con el cultivo.
- **Flexibilidad:** aplicación en pre-emergencia y post-emergencia temprana.
- Combinación de dos modos de acción herbicida, lo que favorece el control de poblaciones resistentes.
- Controla las principales malas hierbas de hoja ancha y estrecha.
- Sin limitación de uso en los años siguientes.



UN INSECTICIDA DE PELÍCULA

- Microgránulos para incorporar en la línea de siembra.
- Excelente protección contra plagas del suelo: gusano de alambre, gusanos grises o rosquillas, zabros y larvas de diabrotica.
- Alta eficacia insecticida.
- Acción de choque y elevada persistencia.
- Con aporte de nutrientes que favorecen la nascencia del cultivo.

La presencia de ambos efectos significativos sugiere que, aunque hay buenos cultivares para seleccionar, su recomendación debe ser cuidadosa. No se puede elegir un ganador basándose en un solo sitio; se deben buscar aquellos con alta estabilidad fenotípica o desarrollar recomendaciones zonificadas para maximizar el potencial genético en cada ambiente específico.

Para calcular y utilizar los valores genéticos predichos en presencia de una interacción significativa se utilizan los modelos lineales mixtos que descompone el fenotipo en efectos genéticos, ambientales y de interacción.

La varianza de interacción (Vint) obtenida en este trabajo representó un 25 % de la varianza fenotípica total, lo que se traduce en una baja correlación genética entre ambientes ($rgloc=0,28$), lo que indica que tenemos una interacción GxA significativa (Robertson, 1959), donde el *ranking* de los cultivares no fue constante a través de las diferentes localidades. Ante estos resultados, la elección de los cultivares basada únicamente en medias aritméticas de los valores observados en campo resultaría ineficiente, ya que no consideraría la inestabilidad del comportamiento del maíz frente a las variaciones edafoclimáticas de cada localidad.

El valor de la heredabilidad en sentido amplio al nivel de parcela individual fue bajo ($h^2g=0,10$) para la variable RMOD, indicando que el ambiente tiene una gran influencia en la expresión fenotípica del carácter producción de materia orgánica digestible por hectárea. La mayor parte de lo que se observa (el 90 %) está influido por el ambiente (suelo, clima, manejo) o por errores de medición. Estos resultados sugieren que no se puede elegir a un cultivar comercial por su buen desempeño en una sola localidad, es necesario un análisis multiambiental como el que se propone. Debido a que la variable RMOD es una variable compuesta (rendimiento x digestibilidad), es natural que su heredabilidad sea baja, pues ambos componentes se ven afectados de forma independiente por el estrés ambiental, ya que la materia orgánica digestible es muy sensible al momento de la cosecha y al estrés hídrico que afecta la fibra.

La heredabilidad promedio de todos los datos de cada cultivar (h^2mc) ►►

Tabla 3. Medias y coeficientes de variación experimental (CV, %) de las variables estudiadas en los 50 cultivares evaluados en cuatro localidades y tres o más años de evaluación, ordenados de mayor a menor por los valores de RMOD

Cultivar	RMOD (t ha ⁻¹)	RMV (t ha ⁻¹)	MS (%)	RMS (t ha ⁻¹)	MO (%MS)	Espiga (%MS)	PB (%MS)	ADF (%MS)	IVOMD (%)	CNET (%MS)	Altura (cm)	S-C (días)
326	16,6	79,7	30,2	23,9	96,0	51,8	5,9	22,5	72,1	43,2	273	126
371	16,5	71,1	33,5	23,4	96,3	52,8	6,0	22,6	73,0	43,0	283	130
407	16,2	71,7	33,0	23,3	96,1	51,7	5,8	23,0	72,3	43,0	303	125
218	16,1	67,9	34,1	23,2	96,3	49,4	6,2	24,8	72,0	38,7	287	132
437	16,1	67,3	35,4	23,5	96,3	55,4	5,7	23,1	71,5	43,9	304	121
406	16,0	72,3	31,7	22,8	96,1	52,4	6,3	22,5	72,8	42,7	287	127
202	15,7	70,0	32,0	22,5	96,4	47,9	6,3	24,8	72,0	39,0	283	131
12	15,3	67,0	33,1	22,2	95,3	55,0	8,3	23,0	72,5	41,1	259	124
77	15,3	65,2	34,8	22,5	95,5	53,6	8,0	24,1	71,1	38,1	266	122
83	15,3	70,3	31,8	22,3	95,6	50,4	7,5	23,6	71,9	38,7	262	141
180	15,1	69,4	30,5	21,9	96,6	45,3	5,9	25,4	71,0	37,8	277	121
70	15,0	68,5	31,9	21,9	95,6	55,3	7,6	22,7	71,6	40,7	265	134
213	15,0	71,7	30,4	21,7	96,4	49,2	6,1	24,1	71,9	40,7	288	129
405	15,0	62,0	35,0	21,4	96,3	56,3	6,4	22,0	72,9	42,8	286	121
112	14,9	61,1	34,9	21,1	95,4	52,2	7,5	22,3	74,0	41,8	267	123
13	14,8	64,6	33,5	21,5	95,4	55,7	8,0	22,7	72,2	41,8	259	122
65	14,7	67,9	33,0	22,2	95,4	48,2	8,0	25,7	69,1	35,4	281	137
107	14,7	66,5	32,5	21,4	95,5	51,7	7,7	24,3	71,8	37,6	264	122
219	14,6	65,7	31,8	20,7	96,4	49,4	6,4	23,5	73,1	40,0	288	124
1	14,5	62,1	34,3	21,1	95,9	57,3	7,5	22,6	71,5	42,8	249	128
50	14,4	67,4	32,3	21,6	95,5	53,6	7,2	24,2	69,8	39,7	268	124
69	14,4	71,1	30,2	21,6	94,9	51,1	7,7	25,0	70,0	36,9	265	146
298	14,4	74,8	28,0	20,9	96,3	42,5	6,0	24,3	71,2	40,7	228	133
56	14,3	64,1	33,1	21,1	95,1	54,3	8,0	23,3	71,2	41,7	276	129
114	14,3	59,0	35,3	20,6	95,4	51,6	7,9	23,6	72,5	38,9	257	121
182	14,3	67,4	30,9	21,2	96,8	44,3	6,4	25,7	69,9	37,2	276	122
204	14,3	61,3	33,8	20,7	96,4	48,2	6,3	25,3	71,9	37,9	293	129
299	14,3	75,3	27,7	20,8	96,6	43,5	5,4	23,9	71,2	41,9	225	134
244	14,2	58,7	35,5	20,5	96,8	50,8	5,1	24,8	71,9	40,5	254	125
3	14,1	59,9	34,4	20,4	95,8	54,5	7,6	23,7	72,0	40,8	236	121
52	14,1	60,5	35,3	21,1	95,3	53,4	7,9	23,4	70,4	39,9	263	123
210	14,1	61,7	33,3	20,2	96,7	49,2	6,3	24,5	71,7	40,3	270	120
6	14,0	71,9	29,6	21,1	94,9	51,2	7,8	24,7	69,6	38,1	272	137
80	14,0	68,7	30,5	20,7	95,0	52,9	7,4	23,6	71,0	39,2	250	130
87	14,0	67,1	31,3	20,9	95,4	52,9	7,8	23,8	70,6	38,6	260	135
158	14,0	64,1	32,1	20,2	96,6	43,3	6,9	25,1	71,5	36,0	274	114
172	14,0	59,2	33,9	19,9	96,7	46,4	6,8	22,2	72,6	39,6	269	119
109	13,8	57,5	34,8	19,9	95,4	54,0	8,3	23,6	72,6	40,0	268	120
208	13,8	60,0	34,1	20,0	96,6	51,4	6,2	25,3	71,4	39,4	297	123
283	13,8	68,3	30,0	20,4	96,2	47,6	6,7	23,6	70,2	42,9	213	126
375	13,8	59,5	33,8	20,0	96,3	53,9	6,3	22,9	71,6	41,9	282	119
378	13,7	57,5	33,8	19,3	96,7	56,8	6,0	21,3	73,2	45,1	267	122
53	13,3	63,0	32,1	20,0	94,5	49,4	7,8	25,2	70,0	36,9	281	126
324	13,3	61,7	32,8	19,9	95,6	50,3	6,4	25,0	70,1	39,3	251	117
106	13,2	56,6	34,9	19,6	95,4	52,7	8,1	24,4	70,4	38,8	273	123
274	12,8	57,5	32,7	18,7	96,4	50,5	6,6	23,5	71,1	42,5	205	115
232	12,6	51,9	35,8	18,3	96,5	51,9	6,5	24,9	71,4	40,8	262	118
247	12,5	59,4	30,7	18,0	96,6	46,4	5,9	25,2	72,2	39,2	249	115
318	12,3	59,3	31,6	18,6	96,0	49,7	6,9	24,4	69,0	39,8	263	116
321	12,2	56,5	31,9	17,9	96,0	48,8	6,5	24,4	71,1	40,3	245	114
Media	14,4	64,9	32,7	21,0	96,0	51,0	6,9	23,9	71,5	40,2	266	125
CV(%)	10,7	10,8	6,2	10,2	0,5	7,7	6,1	5,2	1,4	6,8	9,0	5,0

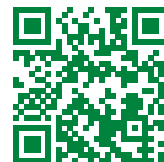


CoteN™ Mix

El nitrógeno de larga duración en sus tres formas



Haifa Iberia
Telf 91 591 2138
Email: iberia@haifagroup.com www.haifagroup.com



con un valor de 0,45, se considera de magnitud moderada, lo que indica que el 45 % de la variación observada en las medias de los cultivares se debe a diferencias genéticas reales, mientras que el 55 % restante se debe a variaciones ambientales o error experimental. Esto significa que, cuando se evalúa el promedio de los cultivares (usando varias repeticiones, años o localidades), la confiabilidad sube al 45 % en relación con las $h^2g=0,10$.

La exactitud de selección (Acgen) mostró un valor de 0,67, lo cual indica una confiabilidad moderada a buena en los parámetros genéticos obtenidos en el estudio.

El valor de 4,9 % obtenido para el coeficiente de variación genética (CVgi %) indica un valor bajo, lo que significa poca variabilidad genética entre los cultivares para la variable estudiada.

El valor de 12,6 % para el CVe % se considera un rango aceptable para la mayoría de las variables agronómicas, lo que es importante para obtener una buena exactitud en la selección o recomendación de genotipos (Resende, 2016).

Estabilidad y adaptabilidad de la producción de materia orgánica digestible (RMOD)

La metodología de los modelos mixtos (Resende *et al.*, 2018) se usó para la selección simultánea de cultivares basada en la productividad, estabilidad y adaptabilidad. Se estimó la Media Armónica del Rendimiento Relativo de los Valores Genéticos (MHPRVG) (tabla 5) que indica la productividad, estabilidad y adaptabilidad esperadas a través de las localidades del estudio. Esta estimación se puede usar cuando se considera la siembra en diferentes localidades

Tabla 4. Parámetros genéticos y análisis de devianza entre los cultivares de maíz forrajero evaluados en cuatro localidades de Galicia y tres o más años de evaluación para la variable RMOD (t ha⁻¹)

Efecto	Devianza ^a	LRT ^b (Chi-cuadrado)
Genotipo	1.519,1	7,3**
Genotipo x ambiente	1.547,3	35,5**
Modelo completo	1.511,8	
Parámetros	Estimaciones	
Vg	0,490	
Vint	1,276	
Ve	3,261	
Vf	5,023	
Heredabilidad individual (h ² g)	0,10	
Heredabilidad media del cultivar (h ² mc)	0,45	
Exactitud (Acgen)	0,67	
Correlación genética entre ambientes (rgloc)	0,28	
Coeficiente de variación genética (CVgi %)	4,90	
Coeficiente de variación experimental (CVe %)	12,60	
Media general (MG t ha ⁻¹)	14,40	

^aDevianza del modelo ajustado sin los efectos correspondientes

^bLRT = razón de verosimilitud

* = significativo por la prueba Chi-cuadrado con 1 grado de libertad: al 1 % de probabilidad (6,63)

con interacciones GxA, donde se deberían seleccionar los cultivares con una MHPRVG mayor o igual a 1 (Torres *et al.*, 2015). El MHPRVG*MG es el producto de MHPRVG por la media general en todos los ambientes (MG).

En la tabla 5 (pág. sig.) se puede observar el *ranking* de los cultivares ordenados por el índice MHPRVG de mayor a menor. Los cultivares 407 (MAS 400.D) y 371 (FREEMAN) presentaron un valor MHPRVG de 1,11, lo que implica que son un 11 % superiores a la media general del ensayo, manteniendo dicha superioridad estable en todas las localidades evaluadas.

Esta estrategia de selección garantiza que los cultivares recomendados posean una adaptabilidad amplia, minimi-

zando el riesgo para el agricultor ante cambios ambientales impredecibles.

Si el índice MHPRVG muestra que un cultivar A es mejor que otro B, hay un 67 % de certeza (Acgen=0,67) de que esa superioridad es por razones genéticas y no debida al azar, o a que el cultivar A justo estaba en las condiciones más favorables del ensayo.

En la tabla 6 (pág. sig.) se muestra el *ranking* genético de los cultivares en cada localidad y en el conjunto de las cuatro localidades. Este valor predice el desempeño real del genotipo en un ambiente determinado (o localidad), ajustando el valor genético según cómo responde ese individuo particular a las condiciones de ese sitio específico. ►►



Distribuidor de Semillas RAGT para Galicia y Asturias

Venta de semillas de maíz, sorgo, girasol, colza, soja, trigo, veza...

Polígono Lalín 2000
Ciudad del Transporte - nave A3
36500 LALÍN (Po)

gilangel@hotmail.es
Tel.: 670 535 636

MAÍZ SILO



RGT MEXXPLEDE
RGT AXXTTRONAUTE *NOVEDAD*
RGT SOCALIXX *NOVEDAD*
RGT DRAGSTER
RGT VOLRAXX *NOVEDAD*
RGT LACTEAXX

iYo
estuve
allí!

ragt.es



think
SOLUTIONS
think RAGT

Tabla 5. Estabilidad y adaptabilidad de los valores genotípicos (MHPRVG) combinando, productividad, estabilidad y adaptabilidad (MHPRVG*MG) para la variable RMOD (t ha⁻¹), de 50 cultivares de maíz forrajero en cuatro localidades (evaluados tres o más años) de Galicia; MG = media general de los ensayos

Orden	Cultivar	MHPRVG	MHPRVG*MG
1	407	1,11	15,9
2	371	1,11	15,9
3	326	1,10	15,8
4	437	1,09	15,7
5	406	1,08	15,6
6	218	1,08	15,6
7	202	1,06	15,2
8	12	1,05	15,1
9	83	1,05	15,0
10	77	1,04	15,0
11	180	1,03	14,9
12	405	1,03	14,8
13	70	1,03	14,8
14	213	1,03	14,8
15	112	1,02	14,7
16	13	1,02	14,7
17	107	1,02	14,6
18	65	1,01	14,5
19	219	1,01	14,5
20	299	1,00	14,4
21	298	1,00	14,3
22	69	1,00	14,3
23	204	1,00	14,3
24	114	0,99	14,3
25	50	0,99	14,3
26	244	0,99	14,3
27	1	0,99	14,3
28	182	0,99	14,3
29	52	0,98	14,3
30	210	0,98	14,1
31	56	0,98	14,1
32	158	0,98	14,1
33	172	0,98	14,0
34	6	0,97	14,0
35	375	0,97	14,0
36	208	0,97	13,9
37	87	0,97	13,9
38	283	0,97	13,9
39	109	0,97	13,9
40	3	0,97	13,9
41	80	0,97	13,9
42	378	0,96	13,7
43	324	0,95	13,6
44	53	0,94	13,5
45	106	0,93	13,4
46	274	0,92	13,3
47	232	0,91	13,0
48	247	0,90	13,0
49	318	0,89	12,8
50	321	0,89	12,8

Tabla 6. *Ranking* genético de los 50 cultivares para la variable RMOD (t ha⁻¹), evaluados individualmente en cuatro localidades (Ordes, Ribadeo, Sarria y Deza) y de forma global mediante un análisis conjunto

Orden	Ordes	Ribadeo	Sarria	Deza	Todas las localidades
1	326	437	56	218	371
2	371	371	83	202	407
3	70	407	202	204	326
4	218	405	70	213	218
5	406	406	371	12	437
6	407	326	50	112	406
7	77	375	13	83	202
8	437	378	77	182	12
9	298	283	180	407	77
10	213	299	218	70	83
11	405	12	65	180	70
12	219	107	406	219	180
13	114	112	326	77	405
14	65	83	407	65	213
15	202	244	69	437	112
16	107	180	1	87	13
17	180	218	12	114	65
18	83	324	80	13	107
19	69	274	437	107	219
20	12	204	52	244	69
21	13	202	219	210	50
22	80	158	182	326	182
23	112	298	3	6	204
24	299	13	244	50	298
25	109	77	210	405	56
26	182	213	107	371	299
27	52	208	6	172	114
28	378	210	213	406	1
29	50	114	172	208	244
30	56	1	87	69	52
31	1	318	158	52	210
32	324	109	112	80	6
33	158	172	283	56	80
34	6	52	299	53	158
35	375	69	298	298	172
36	208	50	109	3	87
37	3	3	53	299	3
38	172	219	204	1	208
39	106	87	106	109	375
40	204	321	375	158	109
41	247	65	114	283	283
42	87	106	274	106	378
43	244	6	232	232	324
44	53	182	324	375	53
45	232	70	208	274	106
46	210	53	318	247	274
47	283	247	405	378	232
48	321	56	378	324	247
49	274	80	321	321	318
50	318	232	247	318	321

Para facilitar su interpretación, el *ranking* se dividió en terciles según sus valores genéticos: el color amarillo destaca el tercio superior; el blanco, el intermedio; y el verde, los valores más bajos

► LOS CULTIVARES 407 (MAS 400.D) Y 371 (FREEMAN) RESULTARON SUPERIORES AL PRESENTAR LA MAYOR PRODUCCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DIGESTIBLE POR HECTÁREA Y LA MAYOR CONSISTENCIA Y ESTABILIDAD GENOTÍPICA EN LAS LOCALIDADES EVALUADAS



El cultivar 407 es el más estable de todos y de alto valor genético para RMOD en las cuatro localidades. Los cultivares 326, 371, 218 y 406 son altamente estables y de alto RMOD en tres de las cuatro localidades. Los cultivares 318, 321, 247, 232 y 106 son muy estables, pero con el RMOD más bajo en los cuatro sitios. Deza mostró una alta interacción con respecto a las otras tres localidades, es decir, el comportamiento relativo de los cultivares en ese sitio es significativamente diferente al observado en los demás. Ordes fue la localidad con el comportamiento más similar a las demás, lo que sugiere que es un sitio idóneo para evaluar la adaptación general de los cultivares de maíz forrajero en Galicia.

No se observó que ninguno de los cultivares mostrara interacciones complejas GxA, es decir, los cultivares evaluados tuvieron un comportamiento relativamente estable o interacciones GxA de carácter simple.

Una vez identificados los cultivares más productivos, estables y adaptables para la variable RMOD (tabla 5), si se desea sembrar uno de esos cultivares en una zona concreta, se puede determinar la fecha estimada de cosecha de ese cultivar sumando a la fecha de siembra en esa zona el valor de la variable S-C (días entre la siembra y la cosecha) del cultivar elegido en la tabla 3. Si quisiésemos escoger un buen cultivar de maíz desde el punto de vista de su valor RMOD, seleccionaríamos los de mejor valor MHPRVG, por ejemplo, el cultivar 407 (tabla 5) e iríamos ahora a la tabla 3 para ver su valor promedio en la variable SC, que sería 125 días. Si queremos sembrar, por ejemplo, el 15 de mayo de 2026, que sería el día 135 del año, y le su-

mamos su valor S-C de 125, la fecha probable de cosecha sería: 135 + 125 = 260; es decir, el día 260 del año. Esa fecha estimada de cosecha sería el 17 de septiembre de 2026.

CONCLUSIÓN

El empleo de la metodología de modelos mixtos permitió una discriminación precisa de los cultivares de maíz forrajero, descomponiendo con éxito los efectos ambientales de los genotípicos.

Los datos revelan una interacción genotipo-ambiente (GxA) significativa, lo que justifica el uso de criterios de selección que integren estabilidad y adaptabilidad. En este sentido, se utilizó el índice MHPRVG (Media Armónica del Rendimiento Relativo de los Valores Genéticos), el cual penaliza la inestabilidad productiva a través de los ambientes. Bajo este criterio, los cultivares 407 (MAS 400.D) y 371 (FREEMAN) resultaron superiores al presentar la mayor producción de materia orgánica digestible por hectárea y la mayor consistencia y estabilidad genotípica en las localidades evaluadas. ■

BIBLIOGRAFÍA

- Bande, M.J., 2025. Evaluación de variedades de maíz forrajero en Galicia (1999-2024). *Vaca Pinta*, 51: 116-130.
- Henderson, C.R., 1975. Best linear unbiased estimation and prediction under a selection model. *Biometrics*, 31: 423-447.
- Khan, N.A., Peiqiang, Y., Mubarak, A., Cone, J.W., Hendriks, W.H., 2015. Nutritive value of maize silage in relation to dairy cow performance and milk quality. *J. Sci. Food Agric.* 95: 238-252.
- MAPA, 2024. Encuesta sobre superficies y rendimiento de cultivos (ESYRCE). Resultados Provisionales Nacionales y Autonómicos. Edita Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), Madrid, 53 p. <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/>

temas/estadisticas-agrarias/comentarios-espana2024_tcm30-697375.pdf

Mendes, F.F., Guimarães, L.J.M., Souza, J.C., Guimarães, P.E.O., Pacheco, C.A.P., Machado, J.R.A., Meirelles, W.F., da Silva, A.R., Parentoni, S.N., 2012. Adaptability and stability of maize varieties using mixed model methodology. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 12: 111-117.

Murillo, O., Resende, M.D.V., de, Badilla Y, Gamboa J.P., 2019. Genotype by environment interaction and selection in teak (*Tectona grandis* L.) in Costa Rica. *Silvae Genetica*, 68: 116-121.

Oliveira, J.A., Bande, M., 2024. Productividad, estabilidad y adaptabilidad de cultivares de maíz forrajero en Galicia. *Vaca Pinta*, 44: 90-96.

Piepho, H.P., Möhring, J., Melchinger, A.E., Büchse, A., 2008. BLUP for phenotypic selection in plant breeding and variety testing. *Euphytica*, 161: 209-228.

Resende, M.D.V., 2007. Software SELEGEN-REML/BLUP: Sistema estatístico e seleção genética computarizada via modelos lineares mistos. *Embrapa Florestas*, Colombo, Brasil, 350 p.

Resende, M.D.V., 2016. Software Selegen-REML/BLUP: A useful tool for plant breeding. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 9: 330-339.

Resende, M.D.V., Murillo, O., Badilla, Y., 2018. Genética cuantitativa y selección en el mejoramiento forestal. Editorial Tecnológica de Costa Rica, Costa Rica, 302 p.

Robertson, A., 1959. The sampling variance of the genetic correlation coefficient. *Biometrics*, 15: 469-485.

Torres, F.E., Teodoro, P.E., Sagrilo, E., Ceccon, G., Correa, A.M., 2015. Genotype x environment interaction in semiprostrate cowpea genotypes via mixed models. *Bragantia*, 74: 255-260.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos su dedicación y apoyo a los propietarios de las parcelas donde se realizaron los ensayos. Asimismo, agradecemos la ayuda y contribución de los técnicos en el desarrollo de este trabajo (personal del Centro de Formación y Experimentación Agroforestal Pedro Murias de Ribadeo, del Servicio de Explotaciones Agrarias de Lugo y del Departamento de Investigación y Transferencia de la Agalac de Santiago).