

Por: Gambin, B. L. ^A; Coyos, T. ^B; Di Mauro, G. ^B; Borrás, L. ^A; Garibaldi, L. A. ^C.

^A Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario (UNR) y CONICET.

^B AAPRESID, Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa.

^C Instituto de Investigaciones en Recursos Naturales, Agroecología y Desarrollo Rural (IRNAD), Sede Andina, Universidad Nacional de Río Negro (UNRN) y CONICET.

Este artículo es una versión resumida de Agricultural Systems 146 (2016) 11-19.

Palabras Claves:

Maíz tardío; Rendimiento; Genotipo; Ambiente; Manejo; Densidad; Nitrógeno; Zona núcleo.

Impacto del genotipo, ambiente y manejo sobre el rendimiento de maíz tardío en zona núcleo

Utilizando una base de datos de la red de maíz tardío de Aapresid con un total de 9 híbridos sembrados en 23 ambientes en zona núcleo se analizó la influencia de variables de manejo (fecha de siembra, densidad de plantas, disponibilidad de N y P) y variables del ambiente (tipo de suelo, precipitaciones durante el ciclo, presencia de napa a la siembra) sobre el rendimiento de maíz tardío. El análisis incluye relevantes interacciones genotipo x manejo.

Puntos a destacar:

- Las decisiones del productor tuvieron más impacto sobre el rendimiento que las variables del ambiente como el tipo de suelo y las lluvias durante el ciclo.
- Decisiones de manejo como la elección del genotipo, el manejo del N y la densidad de plantas fueron las más relevantes para maximizar el rendimiento en maíz tardío.
- La disponibilidad de agua podría ser excesiva en ambientes donde hay influencia de napa, impactando negativamente sobre el rendimiento.
- El N y el genotipo tienen que manejarse en conjunto, ya que los genotipos comerciales responden distinto al N disponible.

Introducción

El maíz es uno de los cultivos de mayor importancia a nivel mundial. El análisis de la influencia del genotipo, manejo y ambiente sobre el rendimiento tiene importantes consecuencias para guiar las decisiones del productor. El país está enfrentando cambios relevantes en su sistema de producción agrícola, ya que el maíz se está sembrando con posterioridad a la fecha temprana normalmente recomendada. Actualmente, cerca del 60% de maíz sembrado en el país se siembra en fecha tardía (PAS, 2015). Aún no es claro qué decisiones de manejo son críticas, y cómo interactúan con diferentes genotipos.

En este trabajo se analizó la influencia de diferentes genotipos, variables de manejo y del ambiente sobre el rendimiento de maíz tardío. El interés estuvo en definir qué variables de manejo o ambiente son relevantes, y en cuantificar la magnitud de los efectos. Debido a que algunas variables de manejo interactúan con el genotipo (por ejemplo, la densidad de plantas; Cox, 1996; Hernández et al., 2014), también se exploraron potenciales interacciones genotipo x manejo (GxM) como diferentes respuestas del genotipo a una variable de manejo particular.

La información analizada proviene de 23 ambientes (combinación de sitio x año), con un total de 9 genotipos en común evaluados en cada ambiente. Empezamos con un modelo que describe las variaciones en rendimiento a través de ambientes, entre genotipo, y debidas a la interacción genotipo x ambiente (GxA) y GxM. La interacción GxM fue evaluada explorando la diferente respuesta en rendimiento

de los genotipos a la densidad de plantas y la disponibilidad de N. Este modelo fue comparado con otro modelo que incorporó la influencia de diferentes variables de manejo o del ambiente. Las variables de manejo evaluadas fueron fecha de siembra, densidad de plantas, disponibilidad de N y P del suelo, y las variables del ambiente analizadas fueron clase de suelo, las lluvias durante el ciclo y la presencia de napa a la siembra.

Metodología

Sistema bajo estudio

Los ensayos (también llamados sitios o ambientes) se sembraron en diferentes localidades alrededor de la zona núcleo de producción de maíz durante dos campañas (2012/2013 y 2013/2014, desde ahora en adelante referidas 2013 y 2014, respectivamente). Los mismos se describen en la **Tabla 1**, con 9 sitios en 2013 y 14 en 2014. Todos los campos fueron manejados bajo siembra directa por un mínimo de 8 años y pertenecen a productores agrupados en Aapresid.

En cada sitio se evaluaron 9 híbridos simples comerciales de maíz de diferentes semilleros (**Tabla 2**). Los genotipos fueron seleccionados por cada semillero, y mostraron un rango de madurez relativa de 120 a 123 (**Tabla 2**). En cada sitio el diseño fue en bloques completos aleatorizados con dos repeticiones (con excepción de 25M_13 que contó con tres repeticiones). Las parcelas tuvieron 6 a 8 surcos de ancho y 200 a 240 m de largo, dependiendo del sitio. El espaciamiento entre surcos fue de 0.52 m.

Todos los ensayos fueron manejados en base a decisiones del productor y con su tecnología disponible, lo cual los hace representativos de la producción de maíz en Argentina (**Tabla 3**). Todos los ensayos fueron en secano, y las malezas e insectos controlados químicamente. El tipo de suelo varió desde suelos de buena aptitud para agricultura (tipo I, II y III) hasta suelos más restrictivos (tipo IV, V y VI) (**Tabla 3**). El antecesor en la mayoría fue soja. En cada sitio se tomaron muestras de suelo hasta los 60 cm de profundidad antes de la siembra para determinar las propiedades del suelo. El porcentaje de materia orgánica (% MO) y la cantidad de P (ppm) fueron determinados para 0-20 cm de profundidad, y la cantidad de N-NO₃ hasta los 60 cm (**Tabla 3**). La cantidad de N y P aplicada fue definida por los productores en base al

**CORAGEN®.
ÚNICO Y
CONTUNDENTE
FRENTE A LA
SPODOPTERA.**

DU PONT®

Coragen®. Una solución que evoluciona con el mundo.

Coragen® es el revolucionario insecticida de DuPont que acompaña la realidad dinámica de la agricultura moderna, aportando un sólido control de spodoptera que protege el cultivo de maíz para que siempre exprese el máximo potencial.

**DuPont™
Coragen®**
protección de cultivos

con la potencia de
RYNAXYPYR®

Las marcas Coragen® y RYNAXYPYR® son marcas registradas de DuPont en los Estados Unidos y en otros países.

PELIGRO. SU USO INCORRECTO PUEDE PROVOCAR DAÑOS A LA SALUD Y AL AMBIENTE. LEA ATENTAMENTE LA ETIQUETA.

Tabla 1

Tabla 2

Lista de sitios evaluados.

Año	Sitio	Código	Latitud (decimal)	Longitud (decimal)
2013	Cristophersen	Cr_13	-34.2	-62.0
	Solis	So_13	-34.2	-59.2
	Laborde	La_13	-33.0	-59.4
	9 de Julio	9J_13	-35.6	-60.9
	Bustinza	Bu_13	-32.5	-61.2
	El Fortin	EF_13	-31.6	-62.2
	Rio II	RII_13	-31.9	-63.8
	25 de Mayo	25M_13	-35.4	-60.1
	Urdinarrian	Ur_13	-32.7	-58.6
2014	M.J. Moreno	MJM_14	-32.5	-62.0
	Noetinger	No_14	-32.4	-62.3
	M. Juarez	MJ_14	-32.7	-62.0
	Jovita	Jo_14	-34.5	-64.0
	9 de Julio	9J_14	-35.4	-60.8
	La Picada	LP_14	-31.7	-60.3
	Colonia	Co_14	-31.8	-60.6
	Rio II	RII_14	-31.6	-63.8
	Laboulaye	Lab_14	-34.0	-63.9
	Godoy	Go_14	-33.3	-60.5
	Bustinza	Bu_14	-32.5	-61.2
	El Fortin	EF_14	-31.6	-62.1
	Pergamino	Pe_14	-34.0	-60.1
Salto	S_14	-34.3	-60.4	

análisis de suelo, rendimientos esperados y costos. Durante el muestreo de suelo se registró además la presencia y profundidad de la napa (**Tabla 3**).

Los datos de rendimiento se presentan al 14% de humedad. El rendimiento de cada parcela (franjas) se determinó mediante sensores ubicados en las cosechadoras. La mayoría de los ensayos no mostraron incidencia relevante de quebrado o enfermedades. La fecha de primera helada siempre fue después de la madurez fisiológica del cultivo.

Variables predictoras

Uno de los principales intereses de este estudio fue incorporar variables de manejo y ambiente como predictores

Lista de genotipos comerciales.

Genotipo	Semillero	Madurez relativa
ACA_470	ACA	120
ADV_8112	Advanta	122
ARV_2155	Arvales	121
ARV_2194	Arvales	122
DK_7210	Monsanto	122
Dow_505	Dow Agr.	121
Dow_510	Dow Agr.	123
NK_840	Syngenta	121
NK_860	Syngenta	122

fijos de rendimiento. La inclusión de predictores estuvo basada en diferentes aspectos, que incluyen interés en el efecto de la variable, disponibilidad de datos y variación entre sitios. Se analizaron los siguientes predictores:

- Fecha de siembra: como días después del 1 de Noviembre (variable cuantitativa).
- Densidad de plantas a cosecha (pl m^{-2}): como variable cuantitativa.
- Nitrógeno disponible a la siembra (kg ha^{-1} , 0-60 cm) + fertilizante como variable cuantitativa (kg ha^{-1}) (desde ahora llamado N disponible).
- Fósforo del suelo (ppm, 0-20 cm): como variable cuantitativa variable (desde ahora llamado P suelo).
- Tipo de suelo: como variable categórica. Los suelos fueron agrupados en tres niveles: I-II, III, y IV-V-VI.
- Precipitaciones durante el ciclo (mm): como variable cuantitativa.
- Napa a la siembra: como variable nominal (dos niveles: 0, ausencia; 1, presencia a menos de 2 m de profundidad).

Análisis estadístico y selección de modelos

Se usaron modelos de efectos mixtos para evaluar la influencia de diferentes predictores sobre el rendimiento (ajustado a 14% de humedad) con el software R. (paquete lme4, función lmer) (Bates et al., 2013). Un mayor detalle de la aproximación utilizada puede encontrarse en el artículo.

Características del manejo y ambiente en cada sitio evaluado.

Código	Fecha de siembra	Densidad (pl m ⁻²)	MO (%)	N disponible (kg ha ⁻¹) ¹	P suelo (ppm)	P fertilizante (kg ha ⁻¹)	Tipo de suelo	Napa ²	Precipitaciones (mm) ³
Cr_13	01-Dic	6.9	2.74	127	10	0	lls	0	382
So_13	24-Dic	5.9	3.41	127	9	13	lls	0	296
La_13	20-Dic	6.8	2.07	169	19	21	llc	1	450
9J_13	20-Nov	6.3	2.73	78	8.3	17	lll	1	562
Bu_13	30-Dic	6.4	3.82	65	17	11	l	1	392
EF_13	03-Ene	6.3	2.85	81	32	9	Vlws	1	389
Rll_13	24-Dic	6.5	2.11	180	20	9	lllc	0	361
25M_13	20-Dic	6.5	2.01	142	5	18	Vles	1	478
Ur_13	24-Dic	6.2	4.34	123	12	17	lll	0	696
MJM_14	01-Dic	6.5	2.63	266	68	51	lls	0	585
No_14	14-Dic	6.5	2.51	437	47	22	llc	1	497
MJ_14	02-Dic	6.5	2.87	408	62	67	l	1	650
Jo_14	07-Dic	5.5	0.97	163	12	16	llc	1	518
9J_14	06-Dic	6.1	2.60	231	7	24	lllws	0	846
LP_14	15-Dic	6.5	1.73	463	31	30	lllep	1	754
Co_14	06-Ene	7.0	2.70	372	42	20	lllep	1	566
Rll_14	19-Dic	5.4	2.03	144	22	9	lllc	0	554
Lab_14	17-Dic	6.1	1.52	182	29	16	lllsc	1	663
Go_14	12-Dic	7.6	2.41	211	16	13	lllwe	1	1095
Bu_14	20-Dic	6.0	2.46	141	11.5	14	ll	1	666
EF_14	17-Dic	6.0	2.47	110	34	15	v	1	675
Per_14	16-Dic	6.6	3.50	196	58	36	lllep	0	986
S_14	14-Dic	6.8	3.14	182	17	45	l	0	1156

¹ Nitrógeno es expresado en kg ha⁻¹ suelo (0-60 cm) + fertilizante a la siembra.

² Presencia (1) o ausencia (0) de napa a la siembra (menos de 2 m de profundidad).

³ Lluvias durante el ciclo (de siembra a cosecha).

Resultados

Variación en manejo y ambiente a través de los sitios

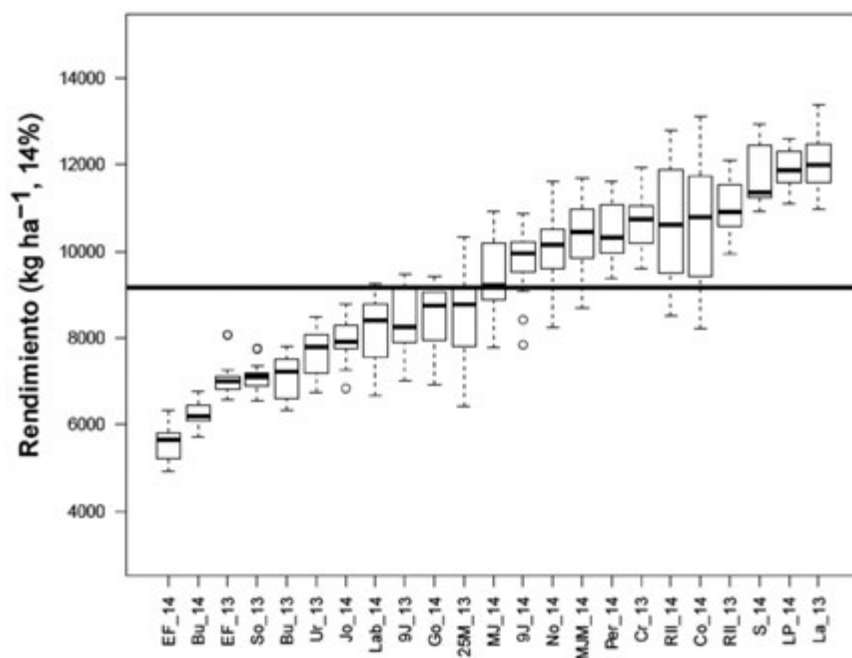
Tanto el manejo como el ambiente mostraron amplia variación a través de los sitios (**Tabla 3**). La fecha de siembra varió desde el 20 de Noviembre al 6 de Enero, la densidad de plantas de 5.4 a 7.6 plantas m⁻², la cantidad de N disponible varió de 65 a 463 kg ha⁻¹, y el P suelo de 5 a 68 ppm (**Tabla 3**). Se detectó presencia de napa a la siembra a menos de 2 m de profundidad en la mayoría de los sitios. Las precipitaciones durante el ciclo mostraron

variación de 296 a 1156 mm (**Tabla 3**). Estas variaciones en manejo y ambiente se traducen en una importante variación en los rendimientos a través de los sitios, desde 5555 a 12078 kg ha⁻¹. Los rendimientos ajustados se muestran en la **Figura 1**.

Variación de rendimiento asociada a genotipo, ambiente, manejo y sus interacciones

Un primer análisis involucró determinar cuánto de la variación en rendimiento estuvo asociado al genotipo,

Boxplot de rendimiento ajustado para 23 ambientes. La línea blanca horizontal indica la media del conjunto de datos. A través de los sitios se evaluaron 9 genotipos bajo manejo de productor.



ambiente, y a las interacciones GxA y GxM. En este primer paso no se tuvieron en cuenta las variables predictoras ya que el interés fue conocer la variabilidad en rendimiento asociada a cada componente. Es lo que llamamos un modelo nulo. El modelo ajustado indicó que la mayor variación en rendimiento se debe a variaciones entre ambientes (68%), seguido de la interacción GxA (8%), variación entre genotipos (5%), e interacción GxM (particularmente dada por interacción genotipo x N disponible, 1%). Estos resultados son acordes a la variación en rendimiento observado en la **Figura 1**.

Un segundo paso en el análisis fue determinar qué proporción de esa variación en rendimiento entre ambientes (el componente que se lleva la mayor variación de los rendimientos) se debe a variables específicas de manejo (fecha de siembra, densidad, N disponible) o ambiente (P de suelo, tipo de suelo, precipitaciones, napa). Los modelos que mejor ajustaron al set de datos se muestran en la **Tabla 4**, siendo el mejor (basado en AIC) el modelo A. Este modelo indicó que el 42.3% de la variación en rendimiento entre ambientes se debió al N disponible, a la densidad de plantas y la presencia o no de napa a la siembra. Mientras que la

variación de rendimiento entre ambientes fue de 2072 kg ha⁻¹ en el modelo nulo, esta variación se redujo a 1496 kg ha⁻¹ cuando se tuvo en cuenta información particular de manejo o ambiente.

El mejor modelo también indicó una variación de rendimiento entre genotipos de 606 kg ha⁻¹, lo cual demuestra la importancia de la elección del genotipo como variable de manejo. Entre los genotipos de mejor comportamiento a través de todos los ambientes aparecen DK_7210 y ADV_8112, y entre los genotipos de relativo menor comportamiento aparecen ARV_2194 y ARV_2155. Lo mismo se aplica para la respuesta a N; la respuesta del rendimiento al N disponible fue mayor o menor dependiente del genotipo particular (aspecto que se discute a continuación).

Influencia de variables de manejo o ambiente

En general, los modelos que tienen en cuenta variables de manejo y ambiente mejoran la capacidad predictiva del mismo (**Tabla 4**). Esto se evidencia cuando se compara el AIC del modelo nulo, sin predictores (modelo K), con los primeros 10 modelos con al menos un efecto fijo (modelos



El blanco es el color de la Independencia



(011) 4469 6800 / 0800 222 7456
ventas@ipesasilo.com.ar • www.ipesasilo.com.ar
@ipesasiloarg f /ipesasiloarg

IpesaSilo

Embolsa más

Tabla 4

Listado de los 10 mejores modelos (A-J) ajustado al set de datos completo, con el objetivo de determinar el efecto de variables de manejo y ambiente sobre el rendimiento de maíz tardío. Se indica además el modelo nulo (K). Celda con una cruz indica la variable que fue incluida en un modelo particular. Se indica además información sobre la bondad de ajuste del modelo (AIC, R^2_m o varianza explicada por efectos fijos y R^2_c o varianza explicada por el modelo entero).

Modelo	Variables de manejo				Variables ambientales						
	Densidad	Fecha de siembra	P de suelo	Disponibilidad de N a la siembra	Tipo de suelo	Lluvias	Napa	R^2_m	R^2_c	AIC	ΔAIC
A	X			X			X	0.38	0.91	622	0
B				X			X	0.34	0.91	623	1
C	X	X		X			X	0.37	0.91	624	2
D				X		X	X	0.34	0.91	625	3
E			X	X			X	0.34	0.91	625	3
F		X		X			X	0.34	0.91	625	3
G				X	X		X	0.36	0.91	625	3
H	X		X		X		X	0.36	0.91	625	3
I				X		X		0.29	0.91	626	3
J	X		X	X		X	X	0.37	0.91	626	3
K								-	-	632	10

A-J). Entre las variables de manejo, la densidad y el N disponible aparecen en los mejores modelos. Entre las variables ambientales la presencia de la napa a la siembra fue la variable que aparece en la mayoría de los mejores modelos. La variación explicada por los efectos fijos (R^2_m) a través de los modelos varió desde 0.29 a 0.38, mientras que la varianza explicada por el modelo general (R^2_c) fue mayor a 0.90, indicando que los modelos describieron los datos observados de manera adecuada.

Entre los modelos con predictores (modelos A-J), no hubo importantes diferencias en AIC, indicando que no hubo claramente un único mejor modelo. Se encontró que el mejor modelo que describe los datos fue el modelo A. El modelo A incluye dos variables de manejo (densidad y N disponible) y una variable ambiental (presencia de napa a la siembra) (Tabla 4). Es interesante destacar que el N disponible, una variable fácilmente manejada por el productor, aparece en la mayoría de los mejores modelos.

A partir de esto se analizó la estimación de los coeficientes del mejor modelo (modelo A, Tabla 4). Esto permitió cuantificar

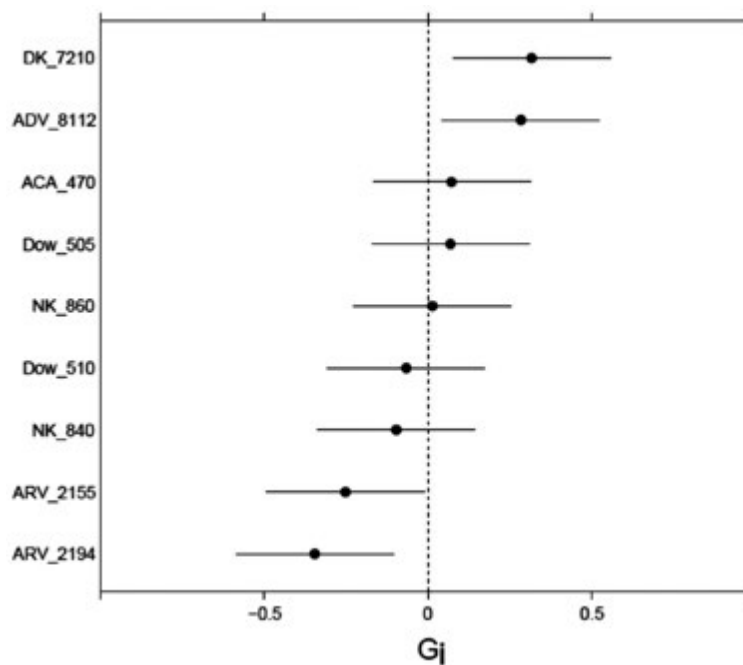
la influencia de cada variable sobre el rendimiento. El N disponible fue la variable de manejo más importante, seguida de la presencia de napa y de la densidad de plantas.

El N disponible mostró un efecto positivo y decreciente sobre el rendimiento (Figura 3), con una pendiente inicial de 22 kg ha⁻¹ por Kg N disponible y un umbral de respuesta de 140 kg N disponible (suelo + fertilizante) ha⁻¹. Llamativamente, esta respuesta inicial varió con el genotipo (Figura 3). Por ejemplo, esta respuesta fue 6 kg ha⁻¹ mayor en DK_7210 y 6 kg ha⁻¹ menor para ADV_2194 (Figura 3). La respuesta para cada genotipo particular se muestra en la Figura 2.

La densidad de plantas mostró un efecto positivo sobre el rendimiento (Figura 5A). Aumentar la densidad de plantas en 10.000 plantas ha⁻¹ en el rango de 54000 a 76000 plantas ha⁻¹ promovió un aumento del rendimiento de 1001 kg ha⁻¹. Este efecto fue general y no hubo indicación de una diferente respuesta entre genotipos (datos no mostrados).

La presencia de napa a la siembra mostró un efecto negativo sobre el rendimiento (Figura 5B), de -1361 kg ha⁻¹ ante la

G_i representa el efecto del genotipo a través de todos los sitios (en escala estandarizada). Los genotipos están ordenados por comportamiento relativo, siendo DK_7210 el de mejor comportamiento. La barra indica la variación entre genotipos (606 kg ha^{-1}).



presencia de napa a la siembra. Esta presencia de napa no estuvo asociada a suelos pobres. Alrededor del 70% de los datos observados de presencia de napa corresponden a suelos tipo I-II.

Discusión

Los modelos mixtos son una herramienta muy poderosa de análisis estadístico (Zuur et al., 2009). Son actualmente aplicados en diferentes disciplinas, donde análisis más simples y clásicos (como ANOVA) tienen problemas (Smith et al., 2001; Bolker et al., 2008, Merlo et al., 2005). Las ventajas de estos modelos incluye la capacidad de trabajar con bases de datos desbalanceadas, bases de datos anidadas y jerárquicas, la capacidad de usar modelos para la estimación del error dentro de los ensayos (variación espacial), y la habilidad de asumir determinados efectos fijos o aleatorios (Smith et al., 2005; Zuur et al., 2009). En este trabajo hemos expandido su uso para comprender decisiones de manejo.

Demostramos que la correcta elección del genotipo a siembra y las prácticas de manejo son relevantes al

momento de optimizar el rendimiento de maíces tardíos. El efecto nulo del P en el suelo está de acuerdo con otros resultados de la región en estudio, que muestran menores valores de respuesta y umbrales menores en siembras tardías producto de las mayores temperaturas exploradas que en fechas tempranas (Ferraris y Couretot, 2014). Hemos confirmado que variables climáticas como lluvias durante el ciclo del cultivo tienen una influencia menor. Esto está relacionado con la menor demanda evapotranspirativa en estas condiciones de crecimiento cuando se lo compara con un maíz temprano (Maddonni, 2012). Incluso hemos detectado que la presencia de una napa de agua subterránea tiene un efecto negativo sobre el rendimiento del maíz en estas fechas de siembra tardías.

Si bien las recomendaciones de dosis de N dependen de la calidad ambiental (Alvarez, 2008; Salvagiotti et al., 2011), hemos encontrado una respuesta general positiva del rendimiento. La regresión general es una curva de respuesta con saturación (Figura 3; de Wit, 1953). Interesantemente, hemos mostrado que parte de la variación descrita en la Figura 3 se debe a diferencias entre genotipos en su

Residuales de rendimiento versus N disponible para el set de datos completo. Los residuales fueron obtenidos restando a cada dato observado el rendimiento estimado del modelo final sin efecto de N disponible. Los datos se encuentran estandarizados en puntaje z por diferencias de escalas entre las variables consideradas. La línea negra indica el ajuste general para N disponible.

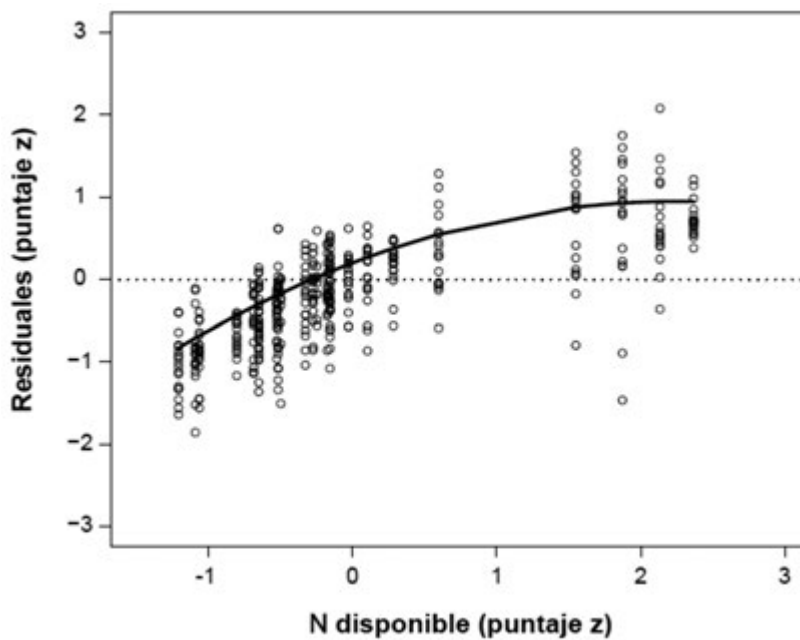
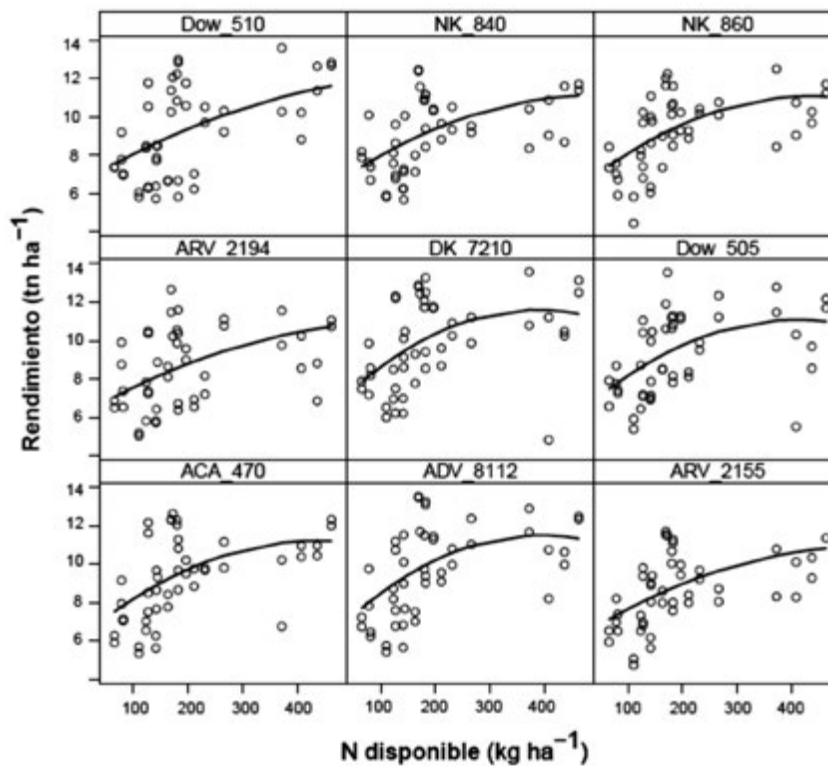


Figura 4

Respuesta del rendimiento al N disponible para cada genotipo. La línea negra indica el ajuste parcial para N disponible.





El maíz se defiende con Adama

Tu decisión de sembrar. Nuestra actitud de proteger.

Para obtener el máximo en la próxima campaña, te sugerimos dos productos de excelencia para que tu maíz se transforme en un verdadero maizal.

Rimón



El insecticida ideal para el control anticipado de cogollero

- Máxima protección del cultivo.
- Gran poder residual.
- Máxima adaptación a estrategias M.I.P.
- No afecta a los insectos benéficos.

Custodia



El fungicida más versátil para el manejo integral de enfermedades en maíz

- Amplio espectro de control
- Más verde por más tiempo
- Mayor calidad y rendimiento para tu cultivo

ADAMA
www.adama.com



@AdamaArgentina



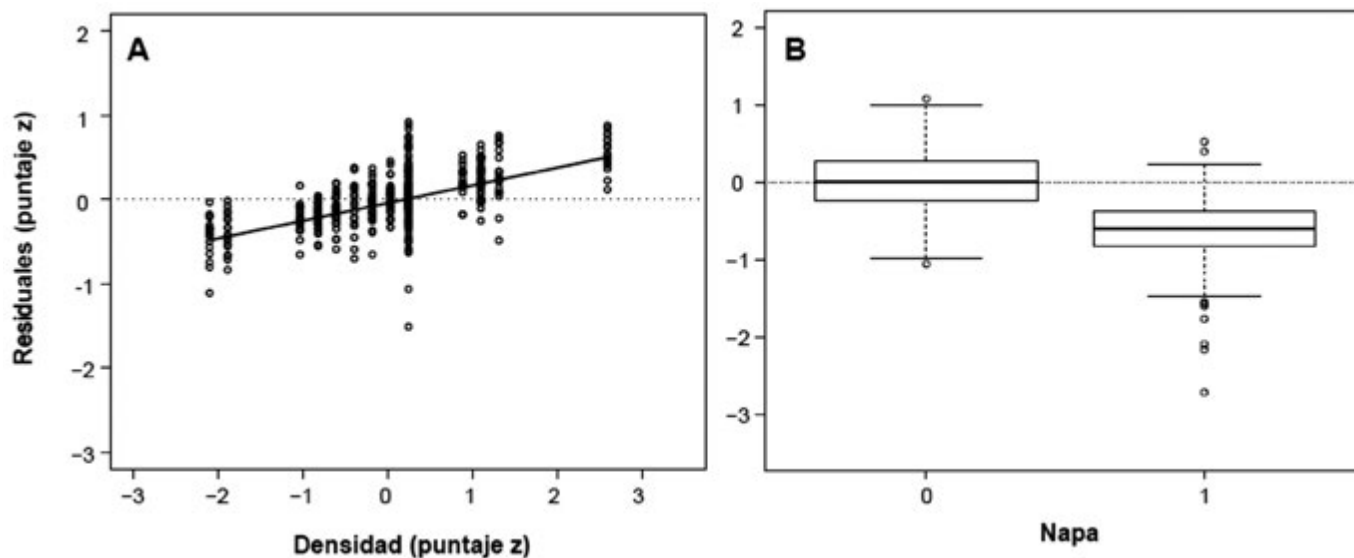
/AdamaArgentina



/AdamaArgentina

PELIGRO: SU USO INCORRECTO PUEDE PROVOCAR DAÑOS A LA SALUD Y AL AMBIENTE, LEA ATENTAMENTE LA ETIQUETA

Residuales de rendimiento versus densidad (A) y napa (B) para el set de datos completo. Los residuales fueron obtenidos restando a cada dato observado el rendimiento estimado del modelo final sin efecto de densidad (A) o napa (B). Los datos se encuentran estandarizados en puntaje z por diferencias de escalas entre las variables consideradas. La línea negra en A indica el ajuste general para densidad. En (B) ausencia de napa es indicado con 0 y presencia con 1.



respuesta al nutriente (**Figura 4**). Estos resultados muestran que el productor debe coordinar su inversión en N con la selección del genotipo. Si bien es reconocido que genotipos viejos y nuevos tienen diferentes respuestas (May Dwyer, 1998), variaciones entre genotipos comerciales es escasa.

La respuesta del rendimiento de maíz a la densidad de siembra de un genotipo particular creciendo en un ambiente particular con un manejo particular es típicamente parabólica (Williams et al., 1968; Giebrech, 1969; Westgate et al., 1997; Hashemi et al., 2005). Los resultados muestran una respuesta general positiva a la densidad de siembra,

sugiriendo que estamos explorando la parte de respuesta positiva de esta curva. Esta respuesta positiva, sin embargo, indica que los productores están sub-valorando la densidad óptima de estos ambientes. Más información nos permitirá explorar si las recomendaciones de densidad de siembra varían entre genotipos y ambientes. Esto es relevante porque se reconoce que la densidad óptima depende del genotipo particular y la calidad ambiental (Duncan, 1954; Rutger y Crowder, 1967; Brown et al., 1970; Carlone y Russell, 1987; Bavec y Bavec, 2002; Hernández et al., 2014).

Conclusiones:

- Exploramos la influencia de diferentes genotipos, manejos, ambientes e interacciones genotipo x manejo sobre el rendimiento de maíces tardíos. Nuestro modelo describió satisfactoriamente la variabilidad temporal y espacial del rendimiento ($r^2= 0.91$), que fue de 5555 a 12078 kg ha⁻¹.
- A pesar de las limitaciones de la muestra (ambientes, genotipos, combinaciones de manejo) pudimos mostrar que las decisiones de los productores relativas a elección de genotipo, disponibilidad de N y densidad de siembra son relevantes en términos de rendimiento. Lluvias y tipo de suelo mostraron efecto limitado. La presencia de una napa de agua subterránea mostró efectos negativos, sugiriendo que la disponibilidad de agua puede estar en exceso en estos ambientes. Disponibilidad de N y elección de genotipo deben ser manejados en combinación, los resultados han mostrado diferencias entre los genotipos comerciales en su respuesta a N.

Agradecimiento

Los autores agradecen a los agrónomos de Aapresid y a productores por ayuda en la toma de muestras y conducción de los ensayos de campo. Y a las empresas semilleras participantes por financiar estos estudios.

Referencias

- Alvarez, R., 2008. Analysis of yield response variability to nitrogen fertilization in experiments performed in the Argentine Pampas. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 39, 1235-1244.
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., Walker, S., 2013. lme4: Linear mixed-effects models using Eigen and S4. R package version 1.0-5. <http://CRAN.R-project.org/package=lme4>.
- Bavec, F., Bavec, M., 2002. Effects of plant population on leaf area index, cob characteristics and grain yield of early maturing maize cultivars (FAO 100–400). *European Journal of Agronomy* 16, 151–159.
- Bolker, B.M., Brooks, M.E., Clark, C.J., Geange, S.W., Poulsen, J.R., Stevens, M.H.H., White, J.S.S., 2009. Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. *Trends in Ecology and Evolution* 24, 127-135.
- Brown, R.H., Beaty, E.R., Ethredge, W.J., Hayes, D.D., 1970. Influence of row width and plant population on yield of two varieties of corn (*Zea mays* L.). *Agronomy Journal* 62, 767-770.
- Carlone, M.R., Russell, W.A., 1987. Response to plant densities and nitrogen levels for four maize cultivars from different eras of breeding. *Crop Science* 27, 465-470.
- de Wit, C.T., 1953. A physical theory on placement of fertilizers. *Vers.Landbouwk.Onderz. (Agric. Res. Rep.)* 59.4. Staatsdrukkerij, 's-Gravenhage.
- Duncan, E.R., 1954. Influences of varying plant population, soil fertility and hybrid on corn yields. *Soil Science Society Proceedings* 18, 437-440.
- Ferraris, G.N., Couretot, L.A., 2014. Elección de ambientes, rendimiento y fertilización de maíz según fecha de siembra. *Revista Técnica Siembra Directa Maíz*, pp. 58-63.
- Giebrech, J., 1969. Effect of population and row spacing on the performance of four corn (*Zea mays* 1L.) hybrids. *Agronomy Journal* 61, 439-441.
- Hashemi, A.M., Helbert, S.J., Putnam, D.H., 2005. Yield response of corn to crowding stress. *Agronomy Journal* 97, 839–846.
- Hernández, F., Amelong, A., Borrás, L., 2014. Genotypic differences among Argentinean maize hybrids in yield response to stand density. *Agronomy Journal* 106, 2316-2324.
- Ma, B.L., Dwyer, L.M., 1998. Nitrogen uptake and use of contrasting maize hybrids differing in leaf senescence. *Plant and Soil* 199, 283-291.
- Maddoni, G.A., 2012. Analysis of the climatic constraints to maize production in the current agricultural region of Argentina—a probabilistic approach. *Theoretical and Applied Climatology* 107, 325–345.
- Merlo, J., Yang, M., Chaix, B., Lynch, J., Råstam, L., 2005. A brief conceptual tutorial on multilevel analysis in social epidemiology: investigating contextual phenomena in different groups of people. *Journal of Epidemiology and Community Health* 59, 729-736.
- PAS. Panorama Agrícola Semanal. 2015. Bolsa de Cereales, Argentina. URL <http://www.bolsadecereales.org/>
- Rutger, J.N., Crowder, L.V., 1967. Effect of high plant density on silage and grain yields of six corn hybrids. *Crop Science* 7, 182-184.
- Salvagiotti, F., Cattellari, J., Ferraguti, F., Pedrol, H., 2011. Economic optimal nitrogen rate as affected by yield potential and nitrogen supply in the northern pampas. *Ciencia de Suelo* 29, 199-212.
- Smith, A.B., Cullis, B.R., Thompson, R., 2001. Analyzing variety by environmental data using multiplicative mixed models and adjustments for spatial field trend. *Biometrics* 57, 1138-1147.
- Smith, A.B., Cullis, B.R., Thompson, R., 2005. The analysis of crop cultivar breeding and evaluation trials: An overview of current mixed model approaches. *Journal of Agricultural Science* 143, 449-462.
- Westgate, M.E., Forcella, F., Reicosky, D.C., Somsen, J., 1997. Rapid canopy closure for maize production in the northern US corn belt: Radiation-use efficiency and grain yield. *Field Crops Research* 49, 249-258.
- Williams, W.A., Loomis, R.S., Duncan, W.G., Dovrat, A., Nunez, A.F., 1968. Canopy architecture at various population densities and the growth and grain yield of corn. *Crop Science* 8, 303-308.
- Zuur, A.F., Ieno, E.N., Walker, N.J., Saveliev, A.A., Smith, G.M., 2009. *Mixed effects models and extensions in ecology with R*. Springer, New York.