

Expediente N° 024005

Bases fenotípicas y genéticas del rendimiento de grano y sus componentes bajo condiciones de recursos contrastantes en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

Unidad Ejecutora: Doll, Juan Martín.

Palabras claves (Hasta 5): Siembras tardías, Rendimiento de grano, Líneas parentales, Híbridos derivados, Aptitud combinatoria.

Director: Ing. Agr. M. Sc. Dr. Incognito Salvador Juan Pablo.

Cargo: Profesor adjunto, Cátedra de Mejoramiento Genético Vegetal. Dedicación simple. Becario Postdoctoral CONICET.

Número de personal a su cargo:

Juan Doll. Becario CIN. Proyecto: Determinación fenotípica y genética del rendimiento de grano y sus componentes y correlación entre líneas endocriadas parentales y sus híbridos derivados para rasgos de llenado de grano en maíz bajo condiciones de recursos contrastantes. Vigencia 01-04-2019 al 31-03-2020.

Co-Director: Ing. Agr. Catriel Santillan Hatala.

Fecha de iniciación del proyecto: 3/2/2020

ÍNDICE

RESUMEN	4
INTRODUCCIÓN	5
OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS	8
Objetivo general	8
Objetivos específicos	9
HIPÓTESIS	9
MATERIALES Y MÉTODOS	9
RESULTADOS	13
Características Ambientales	13
Rendimiento y Componentes	14
Análisis del Patrón de Crecimiento de los granos	20
Evaluación de los determinantes genéticos	23
Correlación entre el promedio de las líneas parentales y sus híbridos derivados	30
INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	31
CONCLUSIÓN	35
BIBLIOGRAFÍA	37

A: Ambiente

ACE: Aptitud combinatoria específica

ACG: Aptitud combinatoria general

CV: Coeficiente de variación

D: Densidad de plantas

D4: Densidad de 4 pl m⁻²

D12: Densidad de 12 pl m⁻²

DLG: Duración de llenado de granos

FS: Fecha de siembra

FSTA: Fecha de siembra tardía

FSTE: Fecha de siembra temprana

IAF: Índice de área foliar

LP: Línea parental

MPH: Heterosis media parental

N: Nitrógeno

N0: 0 kg N ha⁻¹

N400: 400 kg N ha⁻¹

NG: Número de granos

PC: Período crítico

PG: Peso de granos

PP: Precipitaciones

RG: Rendimiento de grano

RGBP: Rendimiento en grano del mejor parental

TCC: Tasa de crecimiento del cultivo

TLG: Tasa de llenado de granos

RESUMEN

En Argentina, las fechas de siembra tardías (FSTA) de maíz en latitudes medias están siendo utilizadas con mayor frecuencia. Las FSTA exponen al cultivo a una menor ocurrencia de un déficit hídrico en el período crítico pero explorando menores rendimientos de grano (RG) potenciales en épocas húmedas, pudiendo modificar la importancia relativa de los componentes del RG. Los objetivos de este trabajo fueron i) analizar los patrones de crecimiento de los granos en líneas de maíz sembrados en fechas tardías bajo diferentes ambientes modulados por el manejo del nitrógeno (N) y la densidad de plantas (D), ii) evaluar los determinantes genéticos y analizar la importancia relativa de la aptitud combinatoria general, específica y heterosis sobre RG y sus componentes numéricos y iii) determinar la correlación entre el promedio de las líneas parentales y sus híbridos derivados para rasgos relacionados al llenado de los granos. Para cumplir dichos objetivos, se evaluaron 7 líneas endocriadas (3 dentadas originarias de USA y 4 flint locales provenientes del programa de mejoramiento de maíz de la E.E.A. Pergamino del INTA) y sus híbridos derivados en dos niveles de fertilización nitrogenada y dos densidades de plantas contrastantes en un diseño en bloques completamente aleatorizado.

Los patrones de crecimiento del grano fueron analizados mediante modelos bi-lineales que permitieron estimar la tasa del llenado de granos (TLG) y la duración del llenado de granos (DLG), mientras que los determinantes genéticos fueron evaluados a través de un análisis dialélico parcial. Los menores RG se obtuvieron en los tratamientos de recursos más limitantes (i.e. alta D y sin N agregado). El número de granos (NG) explicó en mayor medida

las variaciones en el RG, mientras que las diferencias obtenidas en el peso de granos (PG) se debieron principalmente a la TLG. Los determinantes genéticos del RG y sus componentes estuvieron fuertemente asociados a efectos genéticos de tipo aditivos los cuales se vieron reflejados en elevadas ACG de ambos grupos de parentales. Se detectó correlación en líneas e híbridos para el componente NG en ambientes de baja densidad. Estos resultados indicarían que la selección sería la estrategia de mejoramiento más adecuada para la obtención de las mejores líneas endocriadas para la generación de híbridos competitivos y que la predicción del comportamiento de los híbridos a través de los componentes del RG sólo podría ser utilizada en ciertas condiciones.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo de mayor área sembrada del mundo, siendo además, el de mayor producción y consumo. Son estas características las que convierten al maíz y sus derivados en elementos centrales en las negociaciones entre países y bloques del mundo (MAIZAR, 2011).

Argentina, es el segundo mayor exportador mundial de maíz (FAO, 2011), siendo la agricultura uno de los pilares de la economía del país. Existe una demanda pujante de los productos agropecuarios como el grano de maíz para consumo humano y animal, así como para la producción de biocombustibles, lo que genera una necesidad de aumentar la producción en los años próximos. Dicho incremento, podría lograrse aumentando la superficie de producción y/o el rendimiento por unidad de superficie. Como la superficie a la cual se puede expandir el cultivo se encuentra limitada agroclimáticamente, el

aumento del rendimiento por unidad de superficie se convierte en el camino más viable para aumentar la producción. El aumento en el rendimiento podría lograrse a través del mejoramiento genético y/o una optimización de las prácticas de manejo. Dentro de las prácticas de manejo la fecha de siembra constituye una de las más importantes debido a que expone al cultivo a diferentes ofertas de recursos ambientales condicionando su rendimiento.

Las fechas de siembra tempranas (FSTE) o tradicionales para la zona núcleo maicera de nuestro país (Norte de Buenos Aires; Sur de Córdoba y Sur de Santa Fe), comprenden el período que va desde comienzos de septiembre hasta mediados de octubre. El rendimiento potencial del cultivo, está determinado por el ambiente fototérmico explorado por el mismo durante su período crítico (i.e. 15 días centrados en floración femenina; [PC]; Satorre et al., 2012). Las FSTE transcurren su PC en un ambiente de mayor temperatura y radiación, generando una tasa de crecimiento del cultivo superior y un RG potencial elevado. Sin embargo, en estas FS aumenta la probabilidad de ocurrencia de un estrés hídrico, y por ende, el riesgo de una disminución en el NG, y consecuentemente en RG. No obstante, en algunas regiones del país tales como la zona central de Córdoba, las FS tardías (FSTA) que comprenden el período que va desde fin de noviembre hasta comienzo de enero, son habitualmente usadas. Las FSTA presentan una menor probabilidad de condiciones hídricas estresantes para el cultivo y una menor variación de los rindes provocada por el desplazamiento del PC a un momento de menor demanda atmosférica de agua, lo que aporta cierta estabilidad en el RG (Maddonni, 2012). Esto está generando un aumento en la superficie sembrada tardíamente año tras año. La disponibilidad hídrica

durante el PC promueve una alta fijación en el NG, sin embargo, el llenado de los mismos se ubica en un ambiente deficitario en términos de radiación y temperatura, afectando negativamente el PG y consecuentemente el RG (Vega et al., 2017). El PG se encuentra determinado por, la tasa de llenado del grano (TLG) y su duración (DLG). El PG difiere marcadamente entre genotipos de la misma especie evaluados sin restricciones ambientales (Alvarez Prado et al., 2013), se encuentra en una gran proporción determinado genéticamente (Reddy y Daynard, 1983) y su variabilidad es generada por diferentes combinaciones entre la TLG y su DLG.

En el cultivo de maíz, aunque el RG se encuentra mayormente asociado a variaciones en el NG cosechados (Claasen y Shaw, 1970; Hall et al., 1981, Otegui et al., 1995; Bolaños y Edmeades, 1996), ambos componentes, NG y el PG, afectan el RG final (Borrás y Gambín 2010). Ambos componentes se ven fuertemente afectados por la deficiencia de N y consecuentemente el RG disminuye tanto en FSTE como FSTA (Vitantonio-Mazzini et al., 2020). Si bien las FSTA muestran menor respuesta a la aplicación de N producto de la mayor disponibilidad a la siembra por mineralización (Maltese et al., 2019), la aplicación de este nutriente podría mejorar la absorción durante el crecimiento de los granos y de esta manera mitigar el efecto de la caída de la radiación incidente en dicha etapa.

Existe escasa información acerca de la determinación del RG en maíces tardíos y no existen trabajos que hayan determinado la base genética de caracteres asociados al RG y al PG en maíces cultivados bajo estas condiciones. Por ello, es interesante generar un diseño de cruzamientos que nos permita no solo estudiar la determinación del RG en líneas parentales

(LP) de maíces tardíos sino también estimar la aptitud combinatoria y la heterosis para aumentar el entendimiento de la determinación genética del RG, NG y PG. De esta manera se genera información útil no solo a nivel ecofisiológico sino también genético, colaborando con la selección de los mejores parentales en un programa de mejoramiento. La importancia relativa de los componentes del rendimiento para los híbridos derivados de estas líneas parentales ya fue estudiada en el trabajo de Turchi y Gadara (2018).

Para los componentes fisiológicos del PG, es decir su TLG y DLG, Cross (1975), Wang et al. (1999) y Poneleit y Egli (1979 y 1983) encontraron que efectos aditivos explicaban principalmente la determinación de ambos componentes. La selección podría utilizar esta variación aditiva para alterar la TLG y la DLG. Sin embargo, solo el trabajo de Alvarez Prado et al. (2013) determinó el comportamiento de las correlaciones entre líneas parentales y sus híbridos derivados para rasgos relevantes del llenado de granos, pero sólo en condiciones potenciales de cultivo. Por esta razón, la determinación de dichas correlaciones en FSTA bajo diferentes condiciones de disponibilidad de recursos generada por diferentes densidades de plantas y/o niveles de fertilización nitrogenada nos permitiría conocer si es posible seleccionar los mejores híbridos para cada condición a través de la evaluación de sus líneas parentales o si necesariamente debemos evaluar sus cruzamientos.

OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS

Objetivo general

Estudiar la determinación fenotípica y genética del RG y sus componentes en LP de maíz sembrado en fechas tardías bajo diferentes ambientes modulados por el manejo de nitrógeno y la densidad de planta.

Objetivos específicos

1. Analizar los patrones de crecimiento de los granos en líneas endocriadas de maíz.
2. Evaluar los determinantes genéticos y analizar la importancia relativa de la aptitud combinatoria general, específica y heterosis sobre el RG y sus componentes numéricos (NG y PG).
3. Determinar la relación parental-progenie entre las líneas endocriadas evaluadas y sus híbridos derivados para rasgos asociados al RG.

HIPÓTESIS

1. El PG toma relevancia en la determinación del RG de líneas experimentales de maíz en fechas tardías.
2. Bajo condiciones de elevada densidad de plantas, una adecuada nutrición nitrogenada permite sostener el PG.
3. La aptitud combinatoria específica y la heterosis determinan el comportamiento del RG y NG en híbridos experimentales de maíz mientras que efectos aditivos y una alta correlación entre líneas y sus híbridos derivados determinan las variaciones del PG y sus determinantes fisiológicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevó a cabo un experimento durante la campaña agrícola 2015/2016 en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Manfredi, Córdoba. En el cual se sembraron 7 líneas endocriadas y sus 12 híbridos experimentales derivados. Los híbridos fueron generados a partir de un diseño de cruzamiento dialélico parcial, donde 3 líneas endocriadas dentadas constituyentes del grupo 1 (LP 1, LP 2, LP 3) originarias de USA se combinaron con 4 líneas probadoras Flint constituyentes del grupo 2 (LP 4, LP 5, LP 6, LP 7) públicas locales provenientes del programa de mejoramiento de maíz de la E.E.A Pergamino de INTA. Los híbridos derivados fueron nombrados en base al código de sus parentales (e.g. LP 1 y LP 4 dan origen al híbrido 1.4). Las líneas y sus híbridos derivados fueron cultivados en dos densidades contrastantes, 4 y 12 pl m⁻² (D4 y D12, respectivamente) y dos niveles de fertilización nitrogenada, 0 y 400 kg N ha⁻¹ (N0 y N400 respectivamente) en una FSTA (10 de diciembre). Los datos de temperatura y radiación se tomaron de la estación meteorológica del INTA Manfredi.

La siembra se realizó manualmente con bastones de siembra para garantizar la uniformidad espacial. Se sembraron dos semillas por golpe para asegurar la emergencia y uniformidad del cultivo; y luego se procedió a un raleo en el estadio de tres hojas completamente expandidas (V3, Ritchie et al., 1993) para alcanzar la densidad de plantas final.

La fertilización nitrogenada se realizó con UAN (urea + nitrato de amonio) aplicado al costado de los surcos en V6. El ensayo se condujo sin limitaciones hídricas y libre de malezas, plagas y enfermedades por medio de controles químicos y mecánicos.

Los tratamientos se evaluaron bajo un diseño de bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones. Los cuatro ambientes (A) están conformados por diferentes combinaciones de densidad de plantas (D) y niveles de fertilización nitrogenada (N), siendo A1: D4N0; A2: D12N0; A3: D4N400; A4: D12N400. Cada unidad experimental constó de cuatro y tres surcos de 3 m de longitud distanciados a 0,7 m en D4 y D12, respectivamente.

Dinámica de llenado de granos

Se determinó la dinámica de llenado de granos (inicio, fase lineal y final del llenado de granos), para lo cual se ajustó una función bilineal al progreso de acumulación de materia seca y se extrajeron los parámetros fisiológicos del crecimiento del grano (TLG y DLG; Borrás et al., 2009). Para estas determinaciones, se tomaron 3 (D4) y 5 espigas (D12) al inicio del llenado efectivo de granos (i.e., 12 días después de R1), durante la fase lineal de llenado de granos distanciados cada 10 días y en madurez fisiológica. En cada espiga, se tomaron 15 granos del estrato medio y se secaron en estufa durante 72 hs a 60 °C para determinar el peso seco de los mismos.

Rendimiento y componentes (NG y PG)

El NG y PG por planta se determinaron en madurez fisiológica. Espigas de plantas previamente seleccionadas y etiquetadas (6 en D4 y 16 en D12) se cosecharon manualmente. Se registró el NG, PG y contenido de humedad de

cada espiga. Con estos datos se estimó RG por planta corregido a 0% de humedad.

Análisis de datos

Sobre las medias de las variables estudiadas se realizó un análisis de varianza utilizando modelos lineales mixtos, con la finalidad de determinar la existencia de diferencias debidas al nivel de N, D, G y sus interacciones. Adicionalmente, las relaciones entre variables se llevaron a cabo mediante el análisis de regresión y las diferentes funciones se ajustaron utilizando el software GraphPad Prism 6.0 para Windows.

El cuadrado medio para RG, NG y PG correspondiente a las cruzas se particionó siguiendo un diseño dialélico parcial con el objetivo de estimar la aptitud combinatoria general de cada grupo (líneas y probadores) y la aptitud combinatoria específica entre grupos. La combinación de N×D se ingresó al modelo como ambientes. El análisis de aptitud combinatoria se llevó a cabo utilizando el paquete estadístico Genes (Aplicativo computacional em Genética e Estatística Experimental – www.ufv.br/dbg/genes/genes.htm). La heterosis media parental o de sus siglas en inglés MPH (mid parent heterosis) se calculó como la superioridad del híbrido derivado sobre el promedio de las líneas parentales. Para el RG, NG, PG y sus componentes fisiológicos se llevó a cabo un análisis de correlación para comparar el promedio de las dos líneas parentales y su híbrido derivado. Las variables fueron analizadas a nivel de planta individual.

RESULTADOS

Características Ambientales

La figura 1A y 1B muestra la evolución de la radiación incidente y la temperatura media durante la campaña 2015/2016. El PC del cultivo [7 (± 3) de febrero ± 15 días] ocurrió con una temperatura media promedio de 22 °C y un valor de radiación solar media de 24,5 Mj m⁻², valores similares al promedio histórico de la localidad. La figura 1C muestra el registro de las precipitaciones (PP) mensuales, siendo el mes de febrero donde se registraron las mayores PP, en coincidencia con el PC del cultivo, acumulándose durante toda la campaña un total de 893 mm.

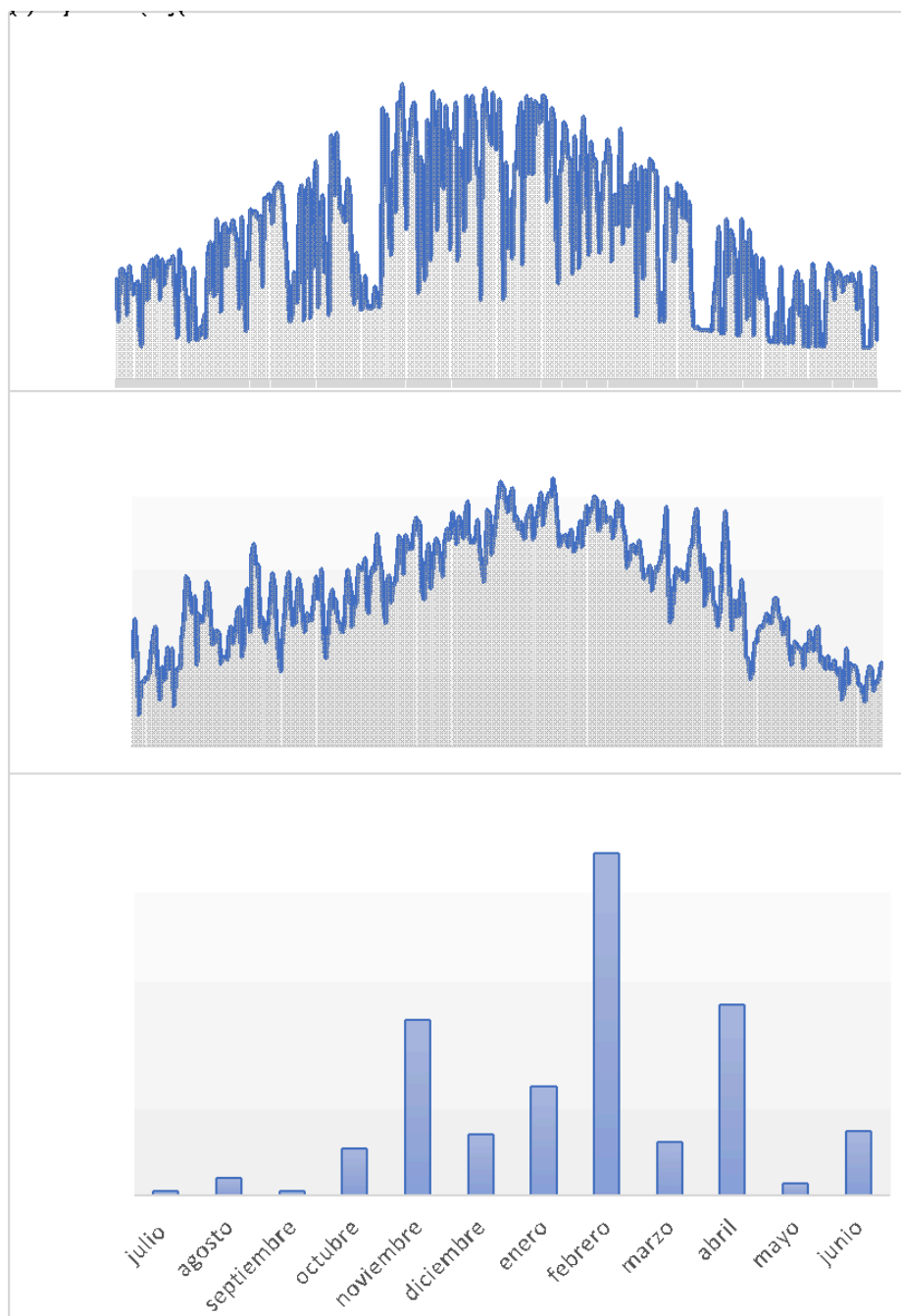


Figura 1. Evolución de A) la radiación solar incidente, B) de la temperatura media diaria y C) registro de las precipitaciones durante el ciclo del cultivo de maíz en Manfredi (Campaña 2015/2016).

Rendimiento y Componentes

El análisis de la varianza para el RG, NG y PG mostró efectos significativos para LP y el ambiente (A). Para RG y NG, las LP mostraron interacción significativa con el A, mientras el ranking de LP para PG no varió a través de los A (Tabla I).

Tabla I. Análisis de la varianza de Rendimiento de grano por planta (RG), número de granos por planta (NG) y peso de grano (PG) de siete líneas endocriadas (LP).

	RG	NG	PG
LP	***	***	***
Ambiente	***	***	***
LP × Ambiente	***	***	ns

Los niveles de significancia de cada tratamiento y las interacciones de cada rasgo son indicados por símbolos: * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$; ns: diferencias no significativas.

Con el objetivo de estudiar detalladamente la determinación del RG y la base genética de las variables evaluadas, se analizó individualmente cada A (Tabla II). Se detectaron diferencias significativas entre LP para RG, NG y PG ($p < 0.05$ y $p < 0.001$).

Tabla II. Rendimiento de grano por planta (RG), número de granos por planta (NG) y peso del grano por planta (PG) de siete líneas parentales (LP) de maíz en 4 ambientes modulados por la densidad de plantas (D4 y D12) y la disponibilidad de nitrógeno (N0 y N400).

	D4N0			D12N0			D4N400			D12N400		
	RG	NG	PG	RG	NG	PG	RG	NG	PG	RG	NG	PG
	(gr pl ⁻¹)	(granos pl ⁻¹)	(mg pl ⁻¹)	(gr pl ⁻¹)	(granos pl ⁻¹)	(mg pl ⁻¹)	(gr pl ⁻¹)	(granos pl ⁻¹)	(mg pl ⁻¹)	(gr pl ⁻¹)	(granos pl ⁻¹)	(mg pl ⁻¹)
LP1	101.38	383.36	268.93	59.57	275.85	208.67	90.88	342.44	270.61	82.63	345.54	240.19
LP2	44.21	249.19	182.26	23.07	120.02	180.98	56.84	306.49	189.82	33.49	176.34	182.93
LP3	33.51	191.17	174.54	16.52	102.97	161.16	33.93	188.67	189.43	23.05	121.76	190.02
LP4	107.19	590.11	185.08	44.53	283.93	158.17	85.82	548.23	162.67	60.89	326.85	187.49
LP5	72.31	274.72	273.70	60.97	276.97	222.72	54.76	219.72	237.88	65.49	257.27	248.82
LP6	78.33	452.89	181.80	30.50	191.87	154.18	79.72	417.89	196.16	49.06	296.54	164.63
LP7	109.87	467.72	206.59	45.41	211.88	206.15	115.28	427.76	241.70	74.11	345.98	200.14
Media	78.11	372.73	210.41	40.08	209.07	184.57	73.89	350.17	212.61	55.53	267.18	202.03
LP	***	***	**	***	***	**	***	***	**	***	***	**
	(14.8)	(141.3)	(45.1)	(9.5)	(59.4)	(31.6)	(10.4)	(94.1)	(47.7)	(8.6)	(74.9)	(35.6)

Los niveles de significancia de cada tratamiento y las interacciones de cada rasgo son indicadas por símbolos: * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$; ns: diferencias no significativas. Los valores de diferencias mínimas significativas (DMS) se especifican entre paréntesis.

En los A de baja D, como era esperable, se obtuvieron los mayores RG, NG y PG, debido a la elevada disponibilidad de recursos por plantas que propició dicha condición. Un aumento de N en esta condición (D4) no influyó significativamente en el RG, NG Y PG, porque los recursos disponibles preexistentes fueron suficientes para alcanzar los máximos valores. Incluso, aunque no significativa, el agregado de N fue negativo para el promedio de las LP (tabla II y figura 2A y B).

En los A de alta D, el nivel de N generó incrementos en el RG y sus componentes, debido a que la competencia entre plantas es mayor, los recursos en el suelo se vuelven limitantes, y el agregado de N promueve el

crecimiento del cultivo y la capacidad de las plantas para fijar y llenar los granos (tabla II y figura 2A, B y C).

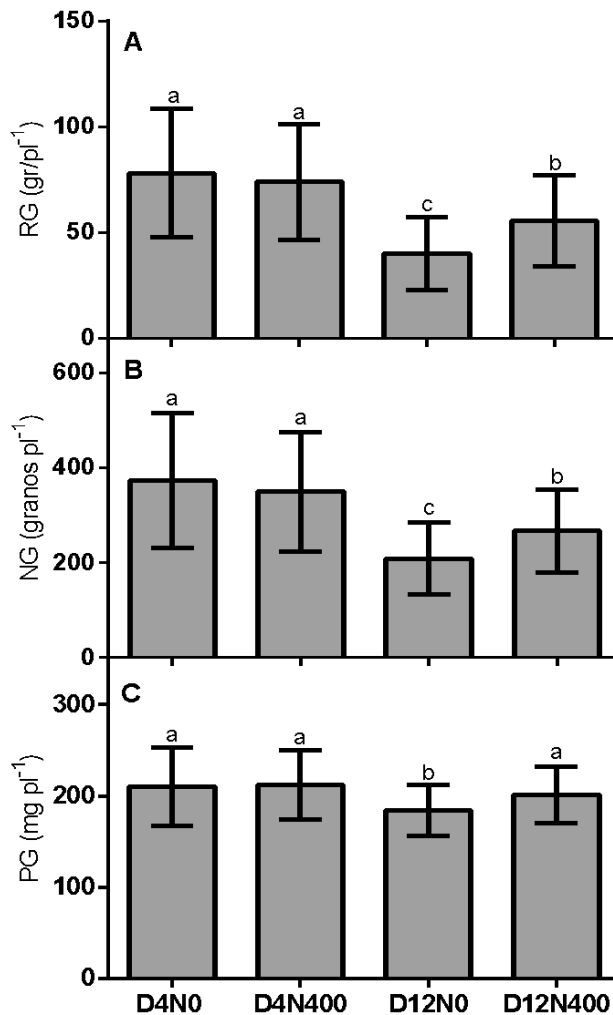


Figura 2. Variación de A) rendimiento de grano (RG), B) número de granos (NG) y C) peso de grano (PG) de LP en densidades de plantas (D12, D4) y niveles de nitrógeno (N0, N400) contrastantes. Misma letra indica que no existen diferencias significativas entre A ($p > 0.05$).

En D12N0 se encontró el valor extremo más bajo para RG, NG Y PG (LP 3: 16.52 gr pl^{-1} , LP 3: 102.97 granos pl^{-1} , LP 6: 154.18 mg pl^{-1} respectivamente). El valor extremo más alto para NG y PG en la condición D4N0 (LP 4: 590.11

granos pl^{-1} , LP 5: 273.70 mg pl^{-1} respectivamente) y el RG más alto en la condición D4N400 (LP 7: 115.28 gr pl^{-1}).

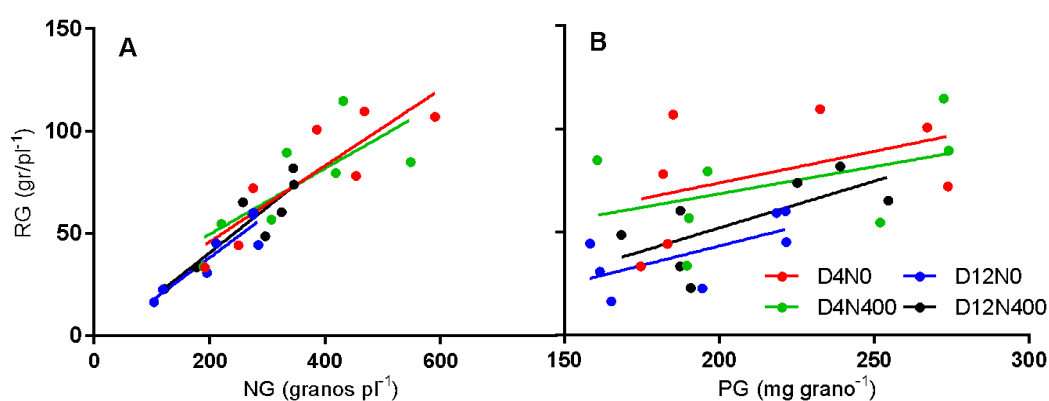
En D4N0 el RG, NG y PG varió en rangos de 33.51 a 109.87 gr pl^{-1} (coeficiente de variación [CV]: 0.38), 119.17 a 590.11 granos pl^{-1} (CV: 0.40) y 174.54 a 273.70 mg pl^{-1} (CV: 0.22), respectivamente. En D4N400 el RG, NG Y PG varió en rangos de 33.93 a 115.28 gr pl^{-1} (CV: 0.35), 188.67 a 548.23 granos pl^{-1} (CV: 0.36) y 162.67 a 270.61 mg pl^{-1} (CV: 0.20), respectivamente. En D12N0 el RG, NG y PG varió en rangos de 16.52 a 59.57 gr pl^{-1} (CV: 0.43), 102.97 a 283.93 granos pl^{-1} (CV: 0.39) y 154.18 a 208.67 mg pl^{-1} (CV: 0.17), respectivamente. En D12N400 el RG, NG y PG varió en rangos de 23.05 a 82.63 gr pl^{-1} (CV: 0.38), 121.76 a 345.98 granos pl^{-1} (CV: 0.34) y 164.63 a 248.82 mg pl^{-1} (CV: 0.17), respectivamente.

En los A de bajas D, el nivel de N no generó grandes variaciones de RG, NG y PG entre las LP, porque todas respondieron poco y mantuvieron un rango similar, aunque el CV fue menor al incorporar N, porque no todas las LP respondieron igual a la fertilización. En general LP de buen comportamiento como la LP 1 y LP 4 disminuyeron el valor de RG, NG y PG mientras que LP de peor comportamiento como la LP 2 y LP 3 mantuvieron o incrementaron levemente el valor del RG y sus componentes, lo que generó una disminución en el CV. En los A de alta D la disponibilidad de N incrementó el rango de variación de las LP, denotando una mayor eficiencia del N en D12 en relación a D4, donde no hubo respuestas. El N también favoreció a disminuir el CV para el RG y NG, en este caso, porque todas las LP respondieron positivamente a la fertilización con N incrementando sus valores de RG, NG y PG.

Independientemente del A analizado la LP 1, LP 4 y LP 7 presentaron en general los RG y NG más elevados. Los mayores RG en la LP 1 estuvieron asociados a mayores PG mientras que LP 4 y LP 7 explicaron su elevado RG por un mayor NG. La LP3 presentó el peor RG en todos los A, acompañado de muy bajos valores tanto en el NG como en el PG.

El NG explicó hasta un 85 % las variaciones en el RG a través de una función lineal para todos los A (figura 3A), mientras que cambios en PG no explicaron las variaciones del RG en ninguno de los A analizados ($p > 0.05$; figura 3B).

A pesar de que no hubo una relación significativa entre el RG y el PG se observó que el ajuste de la regresión lineal que explica esta relación mejoró cuando la D fue alta (figura 3B). Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.06$) para los valores de la ordenada al origen en la regresión lineal entre el RG y PG, por lo que no se ajustó un solo modelo para todos los ambientes.



NG			
D4N0	D12N0	D4N400	D12N400
$Y = 0.1862 \cdot X + 8.618$	$Y = 0.2101 \cdot X - 3.902$	$Y = 0.1607 \cdot X + 17.45$	$Y = 0.2236 \cdot X - 4.205$
*	*	*	*
$R^2: 0.7552$	$R^2: 0.8506$	$R^2: 0.5672$	$R^2: 0.8280$
PG			
D4N0	D12N0	D4N400	D12N400

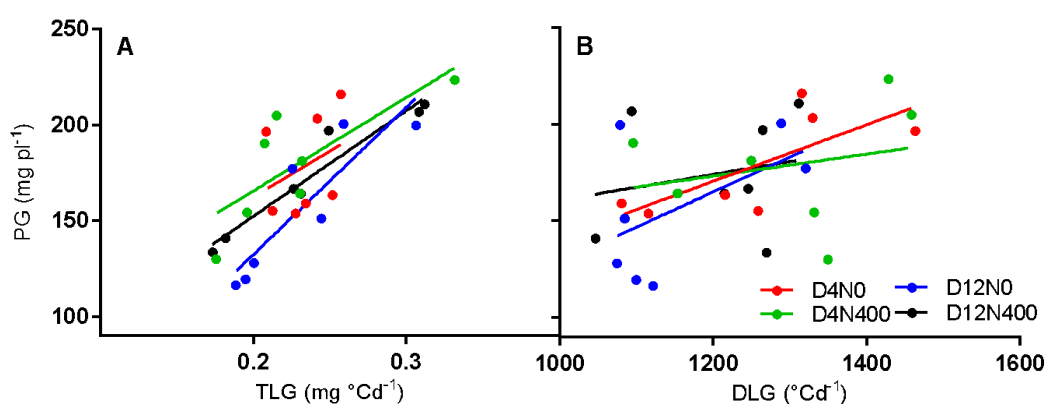
$Y = 0.3065 \cdot X + 12.50$	$Y = 0.3771 \cdot X - 32.23$	$Y = 0.2636 \cdot X + 15.80$	$Y = 0.4534 \cdot X - 38.71$
ns	ns	Ns	ns
$R^2: 0.1884$	$R^2: 0.4227$	$R^2: 0.2013$	$R^2: 0.4579$

Los niveles de significancia de cada tratamiento y las interacciones de cada rasgo son indicados por símbolos: * $p < 0.05$; ns: no significativo.

Figura 3. Relación entre el Rendimiento de grano (RG) con A) número de granos por planta (NG); B) peso de grano por planta (PG). Los símbolos representan cada combinación D×N. Cada punto representa una LP en cada A.

Análisis del Patrón de Crecimiento de los granos

Las variaciones en el PG fueron explicadas principalmente por la TLG, para la cual se detectaron regresiones lineales significativas en tres de cuatro A explicando su relación (figura 4A). Contrariamente, la DLG no se encontró fuertemente asociada con el peso final de los granos, no presentando relaciones significativas en ninguno de los A analizados (figura 4B). Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.08$) para los valores de la ordenada al origen en la regresión lineal entre el PG y TLG.



TLG			
D4N0	D12N0	D4N400	D12N400
$Y = 472.2 \cdot X + 67.82$	$Y = 766.4 \cdot X - 20$	$Y = 466.7 \cdot X + 68.10$	$Y = 549.5 \cdot X + 42.88$
ns	*	*	*
$R^2: 0.153$	$R^2: 0.782$	$R^2: 0.593$	$R^2: 0.931$

DLG			
D4N0	D12N0	D4N400	D12N400
$Y = 0.1461 \cdot X - 4.80$	$Y = 0.1809 \cdot X - 52.08$	$Y = 0.0561 \cdot X + 93.39$	$Y = 0.066 \cdot X + 94.2$
ns	ns	ns	ns
$R^2: 0.541$	$R^2: 0.270$	$R^2: 0.053$	$R^2: 0.044$

Los niveles de significancia de cada tratamiento y las interacciones de cada rasgo son indicados por símbolos: * $p < 0.05$; ns: no significativo.

Figura 4. Relación entre el peso de grano (PG) con A) Tasa de llenado de grano (TLG); B) Duración de llenado de grano (DLG). Los símbolos representan cada combinación D×N. Cada punto representa el valor promedio de una LP en cada A.

Se ajustó una curva bi-lineal caracterizando la dinámica de llenado de granos para cada una de las LP en los 4 A. El comportamiento de todas las LP (a excepción de la LP7) mostró diferencias significativas al ser analizadas por A para los rasgos de TLG y DLG influenciados por la D de plantas y la disponibilidad de N evaluadas a partir de intervalos de confianza al 95% (figura 5A, B, C y D).

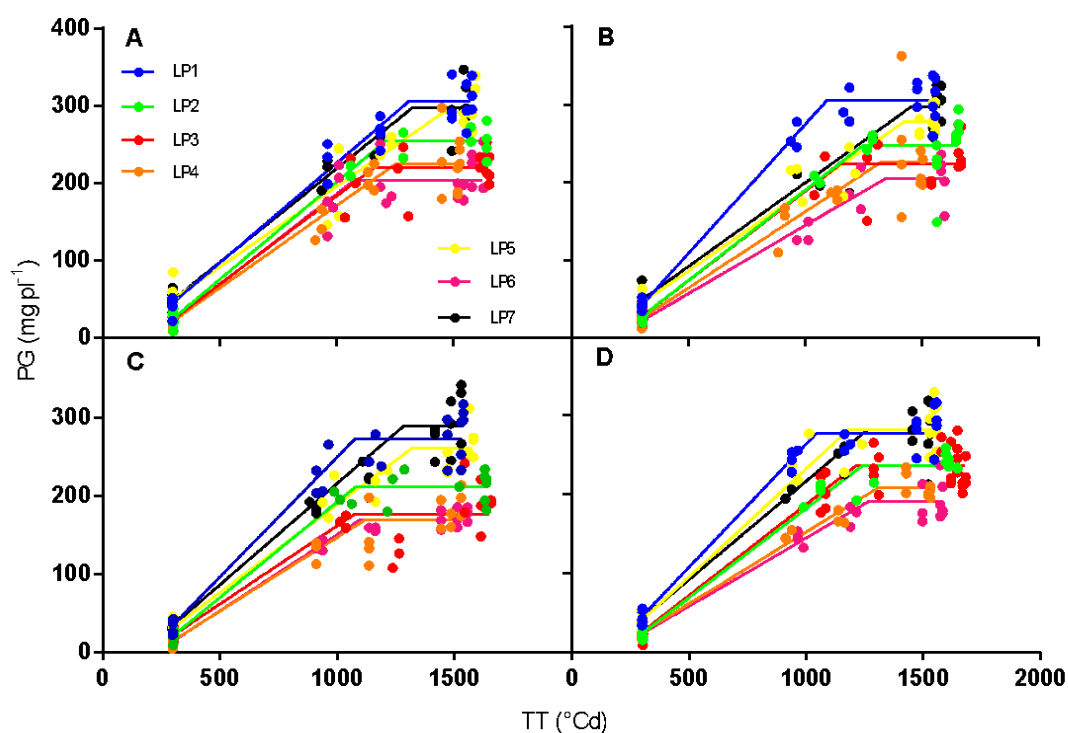


Figura 5. Relación entre el peso de grano (PG) y el tiempo térmico desde floración (TT) para 7 Líneas Parentales (LP) cultivadas en A) D4N0; B) D4N400; C) D12N0 y D) D12N400. Las líneas representan la función bi-lineal ajustada para el conjunto de datos de cada LP.

Independientemente del A analizado las LP 1, LP 5 y LP 7 fueron las que presentaron el mayor PG. La LP 1 se destacó en los A en los cuales los recursos no fueron limitantes, respondiendo excepcionalmente a la fertilización con N. La LP 7 fue una línea extremadamente estable a través de los A, que mantuvo un PG muy similar, por ser la única cuyas TLG y DLG no presentaron diferencias significativas a través de los A, presentando a su vez el mejor comportamiento en D12N0. La LP 5 mantuvo el tercer PG más elevado en 3 de 4 A, pero se destacó en D12N400 por un incremento en la

TLG que le permitió lograr el mayor PG. Por otro lado LP 3, 4 y 6 tuvieron bajos valores de PG a través de todos los A.

En A de baja D, la TLG, la DLG y consecuentemente el PG fueron similares para cada LP. Las variaciones de N solo generaron diferencias significativas para las LP 1 y LP 6 para los rasgos de TLG y DLG. Para la LP 1 incrementos de N aumentaron la TLG y disminuyeron su DLG. Mientras que para la LP 6, incrementos de N aumentaron la DLG y disminuyeron la TLG. Obteniendo por diferentes combinaciones de TLG y DLG un PG similar, por ello, el nivel de N no generó variaciones en el ranking de las LP para el PG a bajas D (figura 5A y B).

En los A de alta D, el aporte de N generó aumentos en el PG por diferentes combinaciones en la TLG y DLG y variaciones mínimas en el ranking de las LP, a pesar de no existir interacción significativa (tabla I). Estos aumentos ocasionaron que el PG de las LP en D12N400 se aproximen al PG que obtuvieron en D4N0 y D4N400 determinando que no se hayan encontrado diferencias significativas para el PG entre los A mencionados (figura 2C). En D12N0 caídas tanto en la TLG como en la DLG generaron que se encontraran los menores PG para todas las LP a excepción de la LP 7 (figura 5C y D).

Evaluación de los determinantes genéticos

Se realizó un ANOVA en el cual se detectaron diferencias significativas para aptitud combinatoria general (ACG), cruzamientos e interacciones entre las mismas y el A para los rasgos de RG, NG y PG. Para la ACE no se

encontraron diferencias o interacciones significativas. Para explorar detalladamente las variaciones de la base genética en cada A se realizó un análisis particionado por A (tabla III).

Tabla III. Análisis de la varianza de la aptitud combinatoria general del grupo 1 (ACG1), del grupo 2 (ACG2) y cruzamientos para los rasgos de Rendimiento de grano por planta (RG), número de granos por planta (NG) y peso del grano por planta (PG) a través de los ambientes.

	RG	D4N0 NG	PG	RG	D12N0 NG	PG	RG	D4N400 NG	PG	RG	D12N400 NG	PG
Cruzamiento	***	***	***	*	***	**	***	***	***	ns	***	**
ACG1	*	ns	***	ns	ns	**	*	**	***	ns	***	*
ACG2	***	***	***	**	***	***	***	***	***	ns	***	***

Los niveles de significancia de cada tratamiento y las interacciones de cada rasgo son indicados por símbolos: * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$; ns: diferencias no significativas.

Para la ACG 1, solamente el PG mostró diferencias significativas entre las LP constituyentes del grupo 1 en todos los A, mientras que el NG solo en A con altos niveles de N. La ACG 2 y cruzamientos fue muy similar, mostrando diferencias significativas para el RG y sus componentes en todos los A, salvo para el RG en D12N400. La expresión de las variables analizadas está regulada principalmente por genes de efecto aditivo. La suma de cuadrados de la ACG1 y ACG2 para los rasgos de RG, NG y PG fue mayor que la suma de cuadrados para la ACE.

La ACG 2 presentó un mejor comportamiento en cruzamientos aportando una mayor cantidad de alelos favorables que la ACG1 para las variables analizadas. Para la ACG1, la LP 1 fue siempre la más apropiada para armar

cruzamientos para el rasgo de RG en todos los A, ya que en todos los casos aporta un efecto positivo (figura 6A). Para el NG, la mejor LP para armar cruzamientos a través de los A no siempre fue la misma, siendo la LP 1 la mejor en D4N0, D12N0 y D12N400, y la LP 2 la mejor en D4N400 (figura 6B) . La LP 3 fue la que presentó los mayores valores de ACG en todos los A para el rasgo de PG (figura 6C). Para la ACG2 la LP 4 fue la que presentó el mejor comportamiento para los rasgos de RG y NG (figura 7A y B). Mientras que para el PG, el mejor padre varió a través de los A. Siendo la LP7 la de mejor comportamiento en D4N0 y D4N400 y la LP 5 la mejor en D12N0 y D12N400 (figura 7C). Existió en general una relación negativa entre la ACG para NG y la ACG PG.

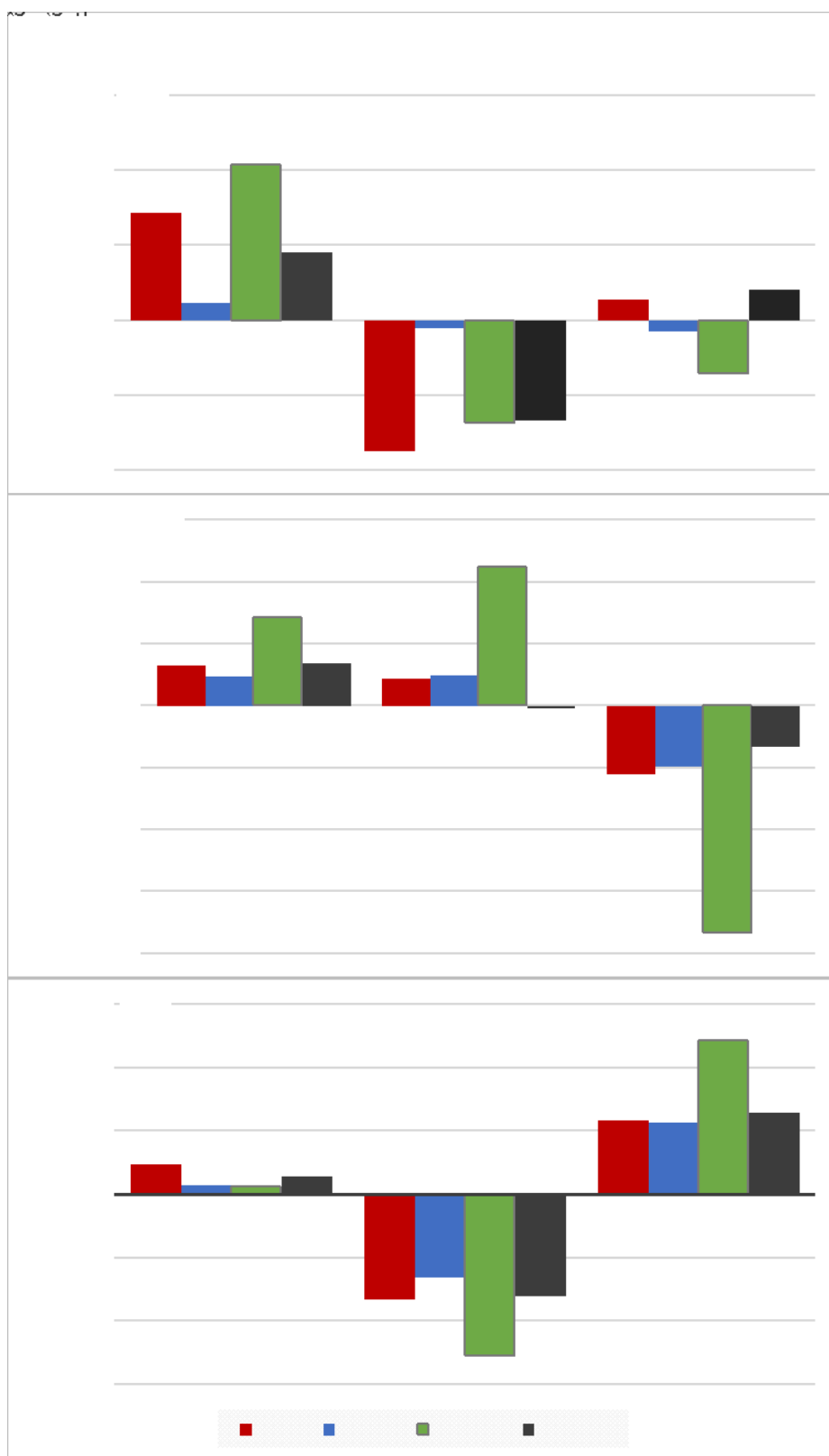


Figura 6. Valores de aptitud combinatoria general del grupo 1 (ACG1) para los rasgos de A) rendimiento de grano (RG), B) número de granos (NG) y C) peso de grano (PG) a través de los A (indicados con colores).

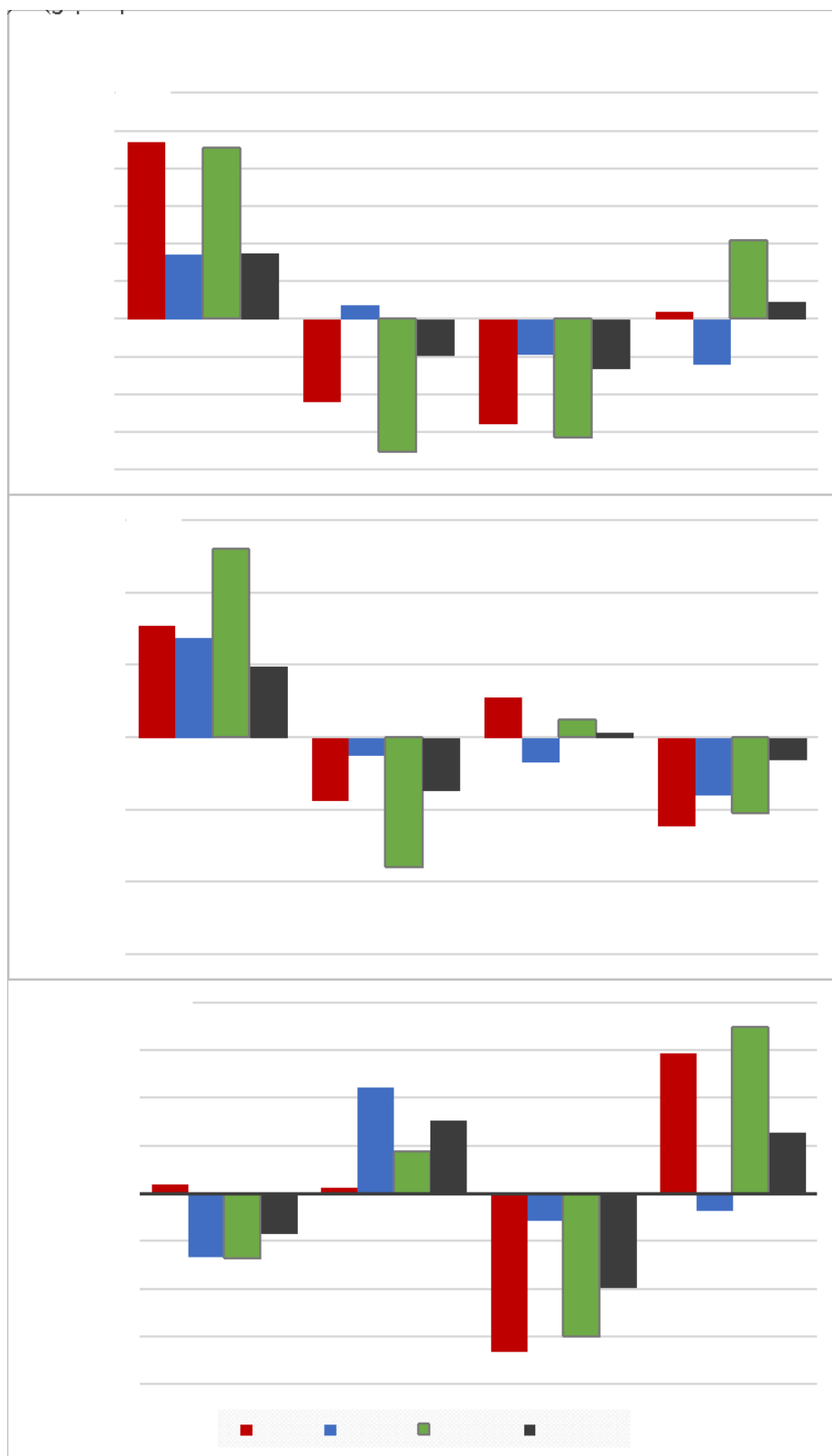


Figura 7. Valores de aptitud combinatoria general del grupo 2 (ACG2) para los rasgos de A) rendimiento de grano (RG), B) número de granos (NG) y C) peso de grano (PG) a través de los A (indicados con colores).

La LP 1 y LP 4 son las que aportaron mayor cantidad de alelos favorables, siendo el cruzamiento entre estas LP (híbrido 1.4) el que generó el más elevado RG. Los cruzamientos en los cuales intervino la LP3 (3.4, 3.5, 3.6, 3.7) presentaron los mayores valores de heterosis en términos porcentuales, en general porque la LP 3 fue la del desempeño más pobre de RG, NG y PG, mientras que sus cruzamientos generaron valores moderadamente altos de RG y consecuentemente elevados valores heteróticos. Particularmente el cruzamiento 3.4 (cuyas LP presentaron elevada ACG para el PG y NG; respectivamente) generó el tercer valor más elevado para RG, lo que favoreció también el aumento en la heterosis (figura 8).

Figura 8. Heterosis (%) calculada como la superioridad del híbrido derivado para el rasgo de rendimiento de grano (RG Hyb) sobre el valor promedio del rendimiento de grano de las líneas parentales (RG LP). Los cruzamientos están nombrados del 1.4 al 3.7 en base al código de las LP.

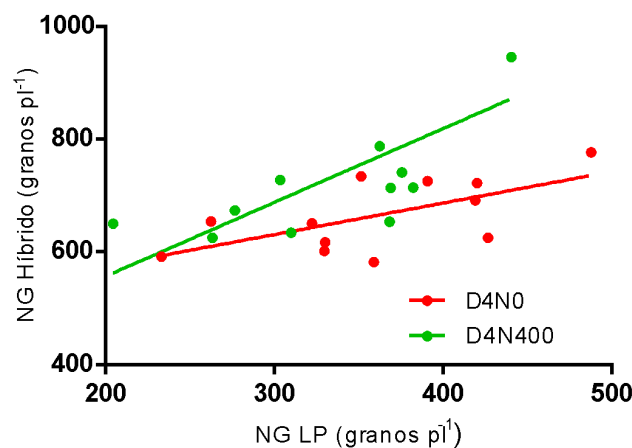
Correlación entre el promedio de las líneas parentales y sus híbridos derivados

La correlación lineal para el RG, NG, PG, TLG, DLG y el rendimiento en grano del mejor parental (RGBP) mostró ser positiva y significativa solo para el NG en los A de baja D (tabla IV). En estas condiciones se puede predecir el comportamiento de los híbridos evaluando la LP ya que el NG de la misma explicó un 40 % (D4-N0) y un 56 % (D4-N400) el comportamiento del híbrido derivado (figura 9).

Tabla IV. Correlación lineal entre líneas e híbridos para rasgos de Rendimiento de grano (RG); Número de granos (NG); Peso de grano (PG); Tasa de llenado de grano (TLG); Duración de llenado de grano (DLG); Rendimiento de grano del mejor parental (RGBP).

	D4N0	D12N0	D4N400	D12N400
RG	ns	ns	ns	ns
NG	*	ns	*	ns
PG	ns	ns	ns	ns
TLG	ns	ns	ns	ns
DLG	ns	ns	ns	ns
RGBP	ns	ns	ns	ns

Los niveles de significancia de cada tratamiento y las interacciones de cada rasgo son indicados por símbolos: * $p < 0.05$; ns: no significativo.



NG	
D4N0	D4N400
$Y = 0.5586 \cdot X + 463.4$	$Y = 1.309 \cdot X + 295.2$
$R^2: 0.3973$	$R^2: 0.5584$

Figura 9. Relación entre el número de granos de las Líneas parentales (NG LP) y sus híbridos derivados (NG Híbrido) para la densidad de 4 plantas m² en N0 y N400.

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Este trabajo permitió estudiar la determinación del RG en LP de maíces sembrados en fechas tardías, estimar la ACG, ACE y la heterosis y determinar las correlaciones entre LP y sus híbridos derivados.

El RG de las LP evaluadas estuvo fuertemente asociado a variaciones en el NG (explicaron hasta en un 85% las variaciones del RG), mientras que variaciones en el PG no se encontraron afectadas significativamente por los A evaluados. Resultados similares se encontraron en el trabajo de Alsina Torres (2015) en el cual el NG explicó en mayor medida las variaciones en el RG. Por lo mencionado, se rechaza la hipótesis 1 que establece que el PG toma más relevancia en la determinación del RG en líneas experimentales de maíz

sembradas en fechas tardías. Sin embargo, el incremento del ajuste de la regresión lineal en altas D que explica la relación entre RG y PG podría sugerir que a altas D, no hay suficientes fotoasimilados disponibles para llenar los granos y el PG podría representar una mayor limitante para el RG.

El N es uno de los nutrientes esenciales que más limita el RG en maíz. Se observó que en A de elevada D de plantas, el déficit de N generó mermas en el RG, NG y PG. La determinación del NG está influenciada por la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) durante el PC. Deficiencias en el N pueden reducir la TCC y consecuentemente el NG (Uhart et al., 2016). Siendo el NG la variable que explicó principalmente las variaciones en el RG, de manera similar a lo que ocurre en siembras tempranas (Andrade et al., 1999; Otegui et al., 1995). El N en el suelo pudo haber actuado también como un fuerte modulador del PG. En condiciones de elevada D de plantas y sin fertilizar, el N se volvió un factor muy limitante generando disminuciones en la relación fuente-destino que afectan directamente el PG, por una reducción del número de células endospermáticas y gránulos de almidón durante el periodo de llenado de grano (Andrade et al., 1996). Por otro lado en esta condición (D12), el aporte de N posiblemente haya aumentado IAF, incrementando la Radiación interceptada por el cultivo y la TCC durante el PC. Lo anterior contribuyó a mejorar o sostener la relación fuente-destino por incrementos en los valores de biomasa producida, en una situación donde se aumentó el número de destinos (Chen et al., 2016). Estos son los posibles motivos por los que las LP evaluadas en el A D12N400 incrementaron el NG como el PG (en tal medida que no se encontraron diferencias significativas con el valor medio del PG en D4N400, D4N0, D12N400). Es por ello que no se refuta la hipótesis

2, la cual dice que el N en altas D permite incrementar el NG y sostener el PG. En los A de baja D posiblemente no se hayan generado deficiencias de N, siendo los niveles de N disponibles por plantas suficientes para crecer, fijar y llenar granos y alcanzar los máximos valores de RG, NG y PG.

En este trabajo se determinó que las variaciones en el PG de las LP fueron explicadas principalmente por variaciones en la TLG, comportamiento observado hasta el momento en FSTA solo en híbridos (Santillan Hatala et al., 2017). En A de baja D la disponibilidad de N no generó variación significativas en los componentes del PG (a excepción de la LP1 y LP6), posiblemente por no verse afectado ninguno de los componentes eco-fisiológicos mencionados anteriormente. Las mayores caídas en la TLG y DLG para las LP evaluadas se hicieron visibles en los A sin aporte de N y altas D. Deficiencias de N reducen la relación fuente-destino, que puede repercutir en el llenado de granos por ocasionar una disminución en la duración del periodo efectivo de llenado (intervalo de tiempo en el cual ocurre la mayor acumulación de materia seca en el grano) y del periodo “lag” (etapa de gran división celular en el cual se acumula poca materia seca en el grano; M. Cordi et al., 1997), aunque el trabajo de M. Cordi no encontró modificaciones en la TLG ocasionadas por la disponibilidad de N. Pero a diferencia del trabajo mencionado, este estudio se realizó en FSTA y posiblemente en estas fechas el estrés por deficiencias de N repercuta sobre ambos componentes del PG.

En el presente trabajo se observó que la determinación del RG y sus componentes en híbridos experimentales estuvieron ligados a efectos principalmente aditivos. La ACG de ambos grupos de padres fue mayor que la ACE, para la cual no se encontró interacciones con el A o diferencias

significativas con los componentes del RG. Siendo la suma de cuadrados de la ACG1 y ACG2 para los rasgos de RG, NG y PG mayor que la suma de cuadros para la ACE. Las LP con los valores más elevados de ACG de cada grupo para el rasgo de RG fueron las LP1 y LP4 (5.82 gr pl⁻¹, 16 gr pl⁻¹; respectivamente) que presentaron un valor bajo de ACE (1.01 gr pl⁻¹). Siendo el cruzamiento 1.4 el que generó el mayor valor de RG (164.5 gr pl⁻¹). Esto refleja que el RG (posiblemente el rasgo de mayor interés agronómico) se encontró plenamente influenciado por efecto genético de tipo aditivos y no por la interacción de los alelos dentro de un mismo loci o efecto de dominancia. Las LP con los valores más elevados de ACG para el rasgo de NG fueron la LP1, LP2 y LP4 (16.38 granos pl⁻¹, 15.73 granos pl⁻¹, 81.35 granos pl⁻¹; respectivamente) cuyas ACE fueron moderadamente altas: 1.4 (25.84 granos pl⁻¹) y 2.4 (14.95 granos pl⁻¹) siendo estas cruza las que presentaron los dos valores más elevados de NG 1.4 (656.24 granos pl⁻¹) y 2.4 (634.07 granos pl⁻¹). Las LP con los valores más elevados de ACG para los rasgos de PG fueron la LP3, LP5 y LP7 (15.13 mg pl⁻¹, 11.96 mg pl⁻¹, 18.4 mg pl⁻¹; respectivamente) cuyas ACE fueron muy bajas 3.5 (-5.9 mg pl⁻¹) y 3.7 (-1.05 mg pl⁻¹) siendo estas cruza las que presentaron los PG más elevados 3.5 (283.29 mg pl⁻¹) y 3.7 (294.69 mg pl⁻¹). Por ello se rechaza la hipótesis número 3, ya que la ACG determinó plenamente el comportamiento del RG, NG y PG en híbridos experimentales de maíz. Posiblemente las LP1 y LP4 podrían ser la base de un nuevo programa de mejoramiento ya que el RG fue explicado por una suma de cuadrados muy alta para las ACG, pudiendo ser la selección recurrente la mejor estrategia para seguir mejorando esta variable.

Los valores heteróticos más elevados para el rasgo de RG los presentaron las cruzas en las cuales intervino la LP 3 (3.4, 3.5, 3.6) siendo sus ACG las siguientes: LP3 (-0.204 gr pl⁻¹), LP4 (16 gr pl⁻¹), LP5 (-7.8 gr pl⁻¹), LP 6 (-10.1 gr pl⁻¹) y sus ACE fueron: 3.4 (-4.86 gr pl⁻¹), 3.5 (1.15 gr pl⁻¹), 3.6 (0.57 gr pl⁻¹). Se encontró una relación negativa entre la ACG para NG y el PG, lo que es lógico ya que un alto NG promueve una disminución de asimilados por grano y por ende un menor peso final de los mismos. Solamente fueron significativas las correlaciones encontradas entre LP y sus híbridos derivados para el rasgo de NG a bajas D y no fueron determinantes en las variaciones del PG ni sus componentes fisiológicos. Es posible que en A de baja D para el rasgo de RG se pueda estimar el comportamiento de los híbridos evaluando a sus LP.

CONCLUSIÓN

Este trabajo determinó que el N es un importante modulador del RG, NG y PG en ambientes en los cuales hubo una gran competencia por los recursos disponibles (i.e. alta densidad de plantas). Por otro lado, en bajas densidades la competencia por recursos en líneas endocriadas es mínima, por lo que el aumento del N disponible en suelo no genera ventajas en el RG ni sus componentes. Las variaciones en el RG fueron debidas principalmente a variaciones en el NG. Mientras que las variaciones en el PG respondieron en mayor medida a la TLG que a la DLG. Los determinantes genéticos del RG y sus componentes estuvieron fuertemente asociados a efectos genéticos de tipo aditivos los cuales se vieron reflejados en elevadas ACG de ambos grupos de parentales por encima de la ACE. En cuanto a la relación

padre-progenie, solamente se encontró una correlación significativa entre LP e híbridos derivados para el rasgo de NG a bajas D. Por lo anterior, se desprende que el estudio de líneas parentales es fundamental para encontrar genotipos promisorios a utilizar en la generación de híbridos modernos adaptados a fechas de siembra tardías.

BIBLIOGRAFÍA

- Alsina Torres, S.E., 2015. Determinación del rendimiento potencial de maíz (*Zea mays* L.) en la localidad de Villa Mercedes.
- Alvarez Prado, S., B. L. Gambín, A. D. Novoa, D. Foster, M. L. Senior et al. 2013. Correlation between parental inbred lines and derived hybrid performance for grain filling traits in maize. *Crop Sci.* 53, 1636–1645.
- Andrade, F.H., Alfredo, C., Sergio U., María O. 1996. Ecofisiología del cultivo de Maíz
- Andrade, F.H., Vega, C., Uhart, S., Cirilo, A., Cantarero, M., Valentinuz, O., 1999. Kernel number determination in maize. *Crop Science* 39, 453-459.
- Bolaños, J., Edmeades, G.O. 1996. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. *Field Crops Res.* 48, 65–80.
- Borrás, L., Zinselmeier, C., Senior, M.L., Westgate, M.E., Muszynski, M.G. 2009. Characterization of grain-filling patterns in diverse maize germplasm. *Crop Sci.* 49, 999–1009.
- Borrás, L., Gambín, B.L. 2010. Trait dissection of maize kernel weight: towards integrating hierarchical scales using a plant biomass framework. *Field Crops Res.* 118, 1–12.
- Chen, K., Camberato, J.J., Tuinstra, M.R., Kumudini, S.V., Tollenaar, M., Vyn, T.J. 2016. Genetic improvement in density and nitrogen stress tolerance traits over 38 years of commercial maize hybrid release. *Field Crops Res.* 196, 438-451.
- Claassen, M.M., Shaw, R.H. 1970. Water deficit effects on corn. II: Grain components. *Agron. J.* 64, 652-655.

- Cross, H.Z. 1975. Diallel analysis of duration and rate of grain filing of seven inbred lines of corn. *Crop Sci.* 15:532–535.
- FAO, 2011. Actualidad agropecuaria de América Latina. <http://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/es/c/505920/>
- Hall, A.J., Lemcoff, J.H., Trapani, N. 1981. Water stress before and during flowering in maize and its effects on yield, its components, and their determinants. *Maydica*. 26, 19-38.
- M. Cordi, S. A. Uhart, H.E. Echeverría y H. Sainz Rozas. 1997. Efecto de la disponibilidad de nitrógeno sobre la tasa y duración del llenado de granos en maíz
- Maddonni, G.A. 2012. Analysis of the climatic constraints to maize production in the current agricultural region of Argentina-a probabilistic approach. *Theor. Appl. Climatol.* 107, 325–345.
- Maizar, 2011. El maíz, primero en el mundo. <http://www.maizar.org.ar/vertext.php?id=392>.
- Maltese, N.E., Melchiori, R.J.M., Maddonni, G.A., Ferreyra, J.M., Caviglia, O.P. 2019. Nitrogen economy of early and late-sown maize crops.
- Otegui, M.E., Nicolini, M.G., Ruiz, R.A., Dodds, P.A. 1995. Sowing date effects on grain yield components for different maize genotypes. *Agron. J.* 87, 29–33.
- Otegui, M.E., Mercau, J; Menéndez, F. 2002. Estrategias de manejo para la producción de maíz tardío y de segunda. En *Guía Dekalb del cultivo de maíz*, Ed. Satorre, Dekalb, 293 pgs.
- Poneleit, C.G., and D.B. Egli. 1979. Kernel growth rate and duration in maize as affected by plant density and genotype. *Crop Sci.* 19:385–388.

- Poneleit, C.G., and D.B. Egli. 1983. Differences between reciprocal crosses of maize for kernel growth characteristics. *Crop Sci.* 23:871–875.
- Reddy, V.M., and T.B. Daynard. 1983. Endosperm characteristics associated with rate of grain filling and kernel size in corn. *Maydica.* 28, 339–355.
- Ritchie, S.W., Hanway, J.J., Benson, G.O. 1993. How a Corn Plant Develops. Iowa State Univ. Special Report 48.
- Santillán Hatala, A.C., Raspa, F.A., Incógnito, S.J.P., Maddonni, G.A., López, C.G y Vega, C.R.C. 2017. Determinación del peso de granos en maíz (*Zea mays* L.) en siembras de verano: efecto de la disponibilidad de recursos por planta. III Workshop internacional de ecofisiología de cultivos. 27 y 28 de septiembre de 2017. Mar del Plata, Argentina
- Satorre, Emilio H. Benech Arnold, R. Slafer, G. De La Fuente, E. Miralles, Daniel J. María E. Otegui y Roxana Savin. 2012. Producción de granos, bases funcionales para su manejo.
- Turchi, M., Gadara, C. 2018. Determinación del peso de granos en siembras tardías de Maíz (*Zea mays* L.): Efectos del genotipo, densidad de siembra y disponibilidad de nitrógeno.
- Uhart, Sergio A. Echeverría, Hernán E. 2016. El rol del nitrógeno y del fósforo en la producción de maíz.
- Vega, C.R.C., C.J. Razquin, A.C. Santillán Hatala and F.A. Ogando. 2017. Marco conceptual para la interpretación eco-fisiológica de la respuesta del maíz a la fecha de siembra. In: L. Borrás and S. A. Uhart (Ed). El mismo maíz, un nuevo desafío: Compendio primer congreso de maíz tardío. Dow Agrosiences Argentina, San Isidro, AR. ISBN 978-987-98384-3-3

Vitantonio-Mazzini, L., Borrás, L., Garibaldi, L., Pérez, D., Gallo, S., Gambin, B.

2020. Management options for reducing maize yield gaps in contrasting sowing dates.

Wang, G., M.S. Kang, and O. Moreno. 1999. Genetic analyses of grain-filling rate and duration in maize. *Field Crops Res.*