

**ANÁLISIS GENÉTICO DE LOS DETERMINANTES DEL RENDIMIENTO EN GRANO
BAJO CONDICIONES DE ESTRÉS EN MAÍZ**

Trabajo Final de Grado
de la alumna



**Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales.
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.**

Pergamino,.....

**ANÁLISIS GENÉTICO DE LOS DETERMINANTES DEL RENDIMIENTO EN GRANO
BAJO CONDICIONES DE ESTRÉS EN MAÍZ**

Trabajo Final de Grado

de la alumna

SILVANA LECÁM

Aprobado por el Tribunal Evaluador

Dr.
Guillermo Eyherabide

Ing. Agr.
Antonio Díaz Paleo

Ing. Agr. M. Sc.
Roberto Lorea

Ing. Agr. M.Sc. Mroginski, Erika
Director

Ing. Agr. Galizia, Luciana Ayelen
Codirector

**Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales,
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires**

Pergamino,.....

AGRADECIMIENTOS

- A la UNNOBA por darme la oportunidad de formarme, y a INTA Pergamino, por hacer posible la realización de este trabajo.
- A mis directoras Erika y Luciana por brindarme confianza, afecto, paciencia y constante apoyo tanto en los trabajos de campo como en la escritura.
- A mis compañeros de campo Federico y Julián, a la gente de Ecofisiología y de Maíz, y un especial agradecimiento a Luisito.
- A mi mamá Graciela, mi papá Walter (†), mis abuelos Angélica, Pina (†) y Abel (†), mis hermanos Gisela, Romina y Maxi, y mis sobrinos Santi y Lisa. Sin su amor, confianza, acompañamiento e infinita paciencia, nada de esto hubiera sido posible.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. El maíz: importancia y producción.....	5
1.2. Estrés hídrico: importancia y efectos sobre el cultivo de maíz.....	6
1.3. Intervalo antesis- <i>silking</i>	7
1.4. Densidad del cultivo y disponibilidad de recursos.....	8
1.5. Mejoramiento genético. Heterosis. Aptitud combinatoria.....	9
1.6. Antecedentes del grupo de trabajo.....	10
1.7. Hipótesis.....	11
1.8. Objetivo general.....	11
1.9. Objetivos específicos.....	11
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
2.1. Material vegetal.....	12
2.2. Descripción y conducción del experimento.....	12
2.3. Evaluaciones fenotípicas.....	13
2.4. Análisis estadístico.....	14
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
3.1. Variabilidad genética.....	17
3.2. Heterosis.....	23
3.3. Análisis dialélico.....	24
3.4. Heredabilidad.....	29
4. CONCLUSIÓN.....	30
5. RESUMEN.....	32
6. BIBLIOGRAFÍA.....	34
7. ANEXOS.....	40
7.1. Anexo 1: Plano del ensayo.....	40

7.2. Anexo 2 a: Evolución de valores meteorológicos diarios.....	41
Anexo 2 b: Lámina de riego aplicada.....	41
7.3. Anexo 3: Valores medios, por genotipo, de variables estudiadas.....	42

1. INTRODUCCIÓN

1.1. El maíz: importancia y producción

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cereales más importantes a nivel mundial, debido a que es utilizado para alimentación animal, humana, en la industria y para la producción de biodiesel. Es uno de los cultivos con mayor producción en el mundo, junto al trigo y al arroz (FAOSTAT, 2017). La producción mundial de maíz para la campaña 2015/2016 fue de 961.100.000 toneladas (Tn) (USDA, 2017). En Argentina, en dicha campaña, se sembraron 6.901.913 hectáreas (ha), de las cuales se cosecharon 5.343.678 ha, alcanzando una producción de 39.783.624 Tn, lo que hizo que el país se ubicara en el cuarto puesto en cuanto a producción mundial, por detrás de Estados Unidos, China y Brasil. Al mismo tiempo, que ascendió al segundo lugar como exportador mundial (MA, 2017). La mayor proporción de la producción mundial de maíz, aproximadamente el 74%, se realiza en planteos de secano, con pequeñas variaciones interanuales (Biradar *et al.*, 2009). En Argentina, sólo entre el 4 y el 7% de la superficie sembrada de dicho cultivo cuenta con algún tipo de forma de irrigación (MA, 2017).

El maíz es una especie diploide con diez pares de cromosomas ($2n=2x=20$). Los óvulos están dispuestos en la inflorescencia femenina (espiga), de posición axilar en el tallo, y los granos de polen en la inflorescencia masculina (panoja) de posición apical. La polinización es anemófila y la fecundación es cruzada, siendo el porcentaje de autofecundación en condiciones naturales muy reducido. La separación de las inflorescencias en la misma planta permite la aplicación de una variada gama de métodos de mejoramiento y producción de semilla (Eyhérbide, 2012).

La demanda de alimentos se incrementa anualmente y, dado que no se considera un aumento significativo del área de producción (FAOSTAT, 2017), es sumamente importante que los programas de mejoramiento desarrollen estrategias para lograr cultivos con mayores rendimientos, mayor calidad y sustentables, basándose principalmente en la capacidad o eficiencia del cultivo para capturar los recursos disponibles (hídrico y nutrientes, entre otros), la capacidad de utilizarlos para la producción de biomasa (eficiencia de uso de dicho recurso) y su partición a órganos cosechables (Passioura, 1977; Muchow *et al.*, 1990).

1.2. Estrés hídrico: importancia y efectos sobre el cultivo de maíz

Los rendimientos de los cultivos de maíz en secano de la región pampeana argentina muestran variabilidad entre años. La misma es atribuida en gran medida a la ocurrencia de deficiencias hídricas durante el cultivo (Totis de Zeljkovich y Rebella, 1980; Hall *et al.*, 1992). Las pérdidas en la productividad varían de acuerdo a la intensidad, duración y al momento de ocurrencia de dicho déficit (Andrade *et al.*, 1996; Cirilo *et al.*, 2012).

El maíz presenta una sensibilidad diferencial a la sequía dependiendo de la etapa fenológica en que se encuentre. Cuando el estrés hídrico se presenta durante la etapa vegetativa, se reduce la expansión foliar, y por lo tanto la eficiencia de captación de radiación. En caso de deficiencias muy severas, se ve afectada la tasa fotosintética y disminuye el crecimiento (Dardanelli *et al.*, 2003). Sin embargo, si el cultivo tiene la posibilidad de recuperar área foliar una vez finalizado el estrés y llega a la floración con una buena cobertura, las disminuciones en el rendimiento serán leves o nulas (Abrecht y Carberry, 1993; Andrade *et al.*, 1996). Si la cobertura, por el contrario, no se recupera luego del estrés, el rendimiento en grano se verá afectado. La posibilidad de recuperación está condicionada por características del cultivar, la estructura del cultivo y las condiciones ambientales de crecimiento (Cirilo *et al.*, 2012).

En floración, la menor disponibilidad de agua puede generar un incremento en el intervalo entre la emisión de polen (floración masculina o antesis) y la aparición de estigmas (floración femenina o *silking*). Esto puede ocasionar que al momento de la aparición de los estigmas ya no haya polen en abundancia, dando lugar a una polinización incompleta. Los óvulos no fertilizados comienzan a desintegrarse y desaparecen antes de que la espiga alcance la madurez fisiológica, afectando directamente el número de granos (Hall *et al.*, 1982). Un largo intervalo antesis-*silking* (ASI, por *anthesis-silking interval*) es consecuencia de una escasa oferta de agua, ya que los estigmas requieren un suministro suficiente para emerger en el momento adecuado para captar el polen (Westgate *et al.*, 2004) generando una disminución en el número de granos (NG), y hasta incluso resultar plantas estériles (Araus *et al.*, 2012). Una reducida partición de fotoasimilados a espigas también incrementa el ASI, y se genera una lenta tasa de crecimiento de espiguillas (Edmeades *et al.*, 2000b; Monneveux *et al.*, 2006). El rendimiento en grano (RG) de maíz bajo estrés hídrico severo en floración está altamente correlacionado con el NG por planta ($r=0,90$) y fuertemente asociado con el ASI ($r=-0,53$, Bolaños y Edmeades, 1996).

Durante el cuaje de los granos, el déficit hídrico disminuirá la tasa de crecimiento del cultivo y con ello será menor el NG fijados (Otegui, 1997). La fertilización exitosa del óvulo no asegura el logro de un grano cosechable. El número final de granos que posea la

espiga será determinado en posfloración, dado que el aborto de granos fertilizados puede continuar hasta dos o tres semanas después de la floración (Cirilo y Andrade, 1994b). La proporción de granos fijados (viables) en relación al número de óvulos depende de la tasa de crecimiento de la planta alrededor de floración (Andrade *et al.*, 2000). Cuanto mayor sea el estrés, menor será la tasa de crecimiento de la planta y, por lo tanto, menor el número de granos fijados llegando, en casos extremos, a la esterilidad total de la planta. Durante el llenado de granos, la intensidad y el momento del estrés condicionan la magnitud de la disminución del rinde (Borrás *et al.*, 2004). Al comienzo de dicha etapa, durante la llamada fase *lag* (período formativo que tiene lugar durante las dos semanas posteriores a la floración), se determina el número de células del endosperma y por ende el peso potencial de los granos. Un estrés en este período afectará tanto el NG como el peso potencial de los granos viables. Durante la etapa efectiva de llenado, los granos demandan asimilados a tasa constante y restricciones ambientales reducen el rendimiento mediante una disminución del peso de los mismos, debido a una menor duración del área foliar y eficiencia de conversión (Andrade y Sadras, 2002). Ante una misma intensidad de estrés, las pérdidas serán menores cuanto más cerca de la madurez fisiológica se encuentre el cultivo (Borrás *et al.*, 2004).

El período crítico para la definición del rendimiento en maíz abarca aproximadamente un mes centrado en la floración femenina (Andrade *et al.*, 1996). Es por ello que para obtener un elevado NG por unidad de superficie, el cultivo debe tener una elevada tasa de crecimiento alrededor de floración (Andrade *et al.*, 2000) para lo cual, es determinante el estado hídrico en dicha etapa.

El manejo correcto de la fecha de siembra y del ciclo del cultivar son las herramientas más importantes para atenuar los efectos negativos de la deficiencia de agua. Si aumenta la probabilidad de deficiencias hídricas, se recomienda disminuir la densidad de siembra para facilitar la mejor distribución del agua y así posibilitar que las reservas hídricas del suelo sean menos limitantes alrededor del período crítico (Campos *et al.*, 2006).

1.3. Intervalo antesis-*silking*

En maíz, la asincronía floral guarda una estrecha relación con el aumento del déficit hídrico en floración, que ocasiona un atraso en la emisión de estigmas con un leve o nulo retraso en antesis (Hall *et al.*, 1981).

Varios autores han encontrado moderadas a fuertes correlaciones negativas entre el ASI y el RG y el NG por espiga, en distintas fuentes de germoplasma (Bolaños y Edmeades, 1996; Chapman y Edmeades, 1999; Monneveux y Ribaut, 2006). El ASI

presenta valores de heredabilidad usualmente mayores que el rendimiento en grano, en consecuencia, mediciones del ASI en floración pueden predecir una proporción significativa de la variación en el RG que será obtenido en la cosecha (Araus *et al.*, 2012).

El ASI es un carácter secundario de importancia, que puede ser utilizado en la selección de maíz tolerante a estrés hídrico, debido a que cumple con diversos requerimientos: (i) está genéticamente correlacionado con el rendimiento, (ii) es menos afectado por el ambiente que el RG y tiene un valor mayor de heredabilidad, (iii) existe variabilidad genética dentro de la especie, (iv) es fácil y rápidamente medible a campo y (v) puede ser evaluado en plantas individuales o parcelas muy pequeñas y de manera no destructiva. Además, el ASI, al ser medido durante la floración, permite prever una proporción significativa de la variación en el RG que sólo se revela 2 a 3 meses más tarde en la cosecha. En casos en los que se utilizó el ASI directamente en la selección, se han obtenido ganancias en rendimiento y disminuciones en la esterilidad bajo estrés (Araus *et al.*, 2012).

1.4. Densidad del cultivo y disponibilidad de recursos

En el cultivo de maíz existe una densidad óptima que permite alcanzar el máximo RG. Dicha densidad varía según la oferta de recursos, disminuyendo a medida que las condiciones de crecimiento se tornan más limitantes (Andrade *et al.*, 1996).

El maíz posee escasa capacidad para compensar una densidad de siembra sub-óptima mediante mayor superficie foliar (Cox, 1996; Doebley *et al.*, 1997), a diferencia de otras especies con mayor plasticidad fenotípica, como el girasol (capacidad de expansión foliar), la soja (capacidad de ramificar) o el trigo (capacidad de macollar) (Vega y Andrade, 2000). En consecuencia, se afecta significativamente la captura de luz y agua y por ende, el crecimiento del cultivo.

El maíz tiene además limitada plasticidad reproductiva en baja densidad, donde el número máximo de flores formadas en la espiga limita el aumento del NG logrados, cuando las plantas crecen a altas tasas. A medida que se incrementa la densidad, el crecimiento por planta disminuye, lo que genera una caída abrupta en el NG fijados en la planta y puede producirse esterilidad completa de las plantas (Vega *et al.*, 2001). Esta disminución en la tasa de crecimiento por planta alrededor de floración a densidades supra-óptimas no es compensada ni por el aumento en la densidad ni por el peso de granos (PG) (Otegui, 1997). Ello se debe a que la espiga, por su posición axilar, sufre un relegamiento en la asignación de asimilados dentro de la planta en floración, debido a

mecanismos de dominancia apical, lo que se acentúa a medida que la disponibilidad de recursos para el crecimiento se reduce (Andrade *et al.*, 1993).

La densidad poblacional modifica el desempeño de los componentes de rendimiento causando una disminución en el mismo. Otegui y Ruiz (1993) y Cirilo (2000) señalaron que modificaciones en el número de plantas por metro cuadrado producen variaciones en: (i) número de espigas por planta, (ii) NG por espiga y (iii) PG.

En secano, cuando la disponibilidad hídrica es limitada, se recomienda el empleo de densidades moderadas o bajas para evitar un consumo excesivo de agua durante las primeras etapas del cultivo al reducir y demorar la cobertura vegetal (Cirilo *et al.*, 2012).

1.5. Mejoramiento genético. Heterosis. Aptitud combinatoria

El mejoramiento genético busca continuamente nuevas recombinaciones de genes para obtener cultivares que expresen mayores niveles de rendimiento, calidad y tolerancia a condiciones de estrés biótico y abiótico, entre otros. El mejoramiento de maíz ha disminuido marcadamente la susceptibilidad de dicho cultivo al estrés hídrico (Araus *et al.*, 2012). A su vez, la selección para RG bajo estrés hídrico en floración, dio lugar a ganancias en rendimiento (100 kg ha^{-1}), en ASI (-1,1 días), en espigas por planta (0,03) e Índice de Cosecha (IC) (0,013) y disminuyó la esterilidad de plantas (Edmeades *et al.*, 2000a).

Los programas de mejoramiento de maíz se basan en la utilización del método de endocria e hibridación, que comprende conceptualmente dos etapas: la primera abarca el desarrollo y mejoramiento de progenitores de híbridos (líneas endocriadas) y la segunda consiste en la evaluación y selección de las mejores combinaciones o cruzamientos entre esos progenitores (híbridos). En el proceso se busca maximizar el fenómeno de heterosis que exhiben los cruzamientos entre razas o genotipos poco emparentados y que se evidencia por un mayor vigor de los individuos híbridos respecto a sus progenitores para caracteres relacionados con la aptitud reproductiva, entre ellos el RG (Eyhérbide, 2012). Una de las formas de evaluar dicha aptitud es a través del análisis dialélico.

Un experimento dialélico consiste en el ensayo de las progenies del conjunto de todos los cruzamientos posibles entre varios genotipos, desde líneas endocriadas hasta variedades de base genética amplia (Griffing, 1956). Una vez que los cruzamientos se han realizado, evaluado y analizado puede realizarse inferencia respecto a los tipos de acción génica involucrados (Hallauer *et al.*, 2010). Griffing (1956) presentó las diferentes variantes que esta técnica puede ofrecer, dependiendo de si los parentales, sus F1's y recíprocos son incluidos y del tipo de modelo empleado (de efectos fijos, aleatorios o

mixtos). La idoneidad de los diversos tipos de métodos de cruce dialélico depende del material experimental y los objetivos del experimento. En la mayoría de los análisis de capacidad de combinación en los que se utiliza un conjunto de líneas elegidas, el interés se centra en el rendimiento de Ft. Por lo tanto, las líneas parentales no necesitan ser incluidas. Sin embargo, en ciertos casos, podría ser aconsejable incluir a los padres. Por ejemplo, si el análisis de habilidad combinatoria se emplea para determinar las líneas adecuadas para combinar en una variedad sintética, y si ocurre una endogamia considerable en la especie, entonces es aconsejable incluir a los padres en el análisis dialélico (Griffing, 1956).

El cruzamiento dialélico ha sido ampliamente utilizado en maíz más que en otros cultivos. Es de gran utilidad, pero puede presentar inconvenientes en cuanto a interpretaciones e inferencias sobre las estimaciones que se obtienen del mismo (Hallauer *et al.*, 2010). A su vez, para obtener estimaciones confiables de los efectos de aptitud combinatoria, el análisis dialélico debe ser llevado a cabo en más de un ambiente (Rojas y Sprague, 1952 y Matzinger *et al.*, 1959) debido a las interacciones de la aptitud combinatoria general (ACG) y la aptitud combinatoria específica (ACE) con el ambiente.

Bänziger *et al.* (2012a) encontraron en resultados preliminares sobre el control genético y los modos de acción génica a tolerancia a sequía que: (i) las líneas son más susceptibles que los híbridos al estrés, (ii) a medida que el estrés hídrico es más severo, aumenta la importancia de la ACG y de los efectos genéticos aditivos, (iii) debido a la importancia de la severidad del estrés, se aconseja que ambas líneas progenitoras sean tolerantes para permitir un grado aceptable de tolerancia en el híbrido.

1.6. Antecedentes del grupo de trabajo

En estudios previos, el grupo Maíz del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de la Estación Experimental Agropecuaria Pergamino (INTA - EEA Pergamino), junto a investigadores de INTA - EEA San Juan, han evaluado el comportamiento de líneas e híbridos, ante estrés hídrico controlado en experimentos a campo en la provincia de San Juan, y han encontrado materiales con diferentes niveles de tolerancia. A partir de dicho trabajo, se seleccionaron las líneas endocriadas LP29 (susceptible), LP4703 (tolerante) y LP2542 (altamente tolerante), por su comportamiento contrastante frente al estrés hídrico (Ruiz y Eyherabide, 2015).

Asimismo, en un trabajo conjunto desarrollado con investigadores del INTA - EEA Paraná, en ensayos llevados a cabo en macetas, se hallaron diferencias en los niveles de

fotosíntesis de las líneas seleccionadas (Muller *et al.*, 2010) y en híbridos derivados (Valentinuz *et al.*, 2012)

1.7. Hipótesis

- Existe variabilidad genotípica para los componentes numéricos del rendimiento y para el intervalo anthesis-*silking* en los genotipos bajo estudio.
- La importancia relativa de los efectos genéticos involucrados en la expresión del rendimiento en grano por planta y la asincronía floral en maíz varían de acuerdo a las condiciones ambientales, siendo más relevantes los efectos aditivos en situaciones más restrictivas.

1.8. Objetivo general

Analizar la variación genotípica y los efectos genéticos involucrados en la expresión del rendimiento y la asincronía floral, en condiciones ambientales contrastantes, generadas por disponibilidad hídrica y densidad poblacional.

1.9. Objetivos específicos

- Caracterizar la variabilidad genotípica para las características relacionadas con la generación del rendimiento (número de granos, número de granos por m⁻², peso de mil granos, biomasa aérea, índice de cosecha) y la asincronía floral y establecer las correlaciones existentes.
- Determinar el nivel de heterosis de los rasgos de interés, en condiciones ambientales contrastantes, generadas por disponibilidad hídrica y densidad poblacional.
- Cuantificar la aptitud combinatoria general y específica para el rendimiento en grano por planta y la asincronía floral, su importancia relativa y calcular la heredabilidad de dichos caracteres.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Material vegetal

El material genético a evaluar está constituido por cuatro líneas endocriadas del programa de mejoramiento de maíz de INTA - EEA Pergamino (LP29, LP2542, LP4703 y LP923), seleccionadas por su comportamiento contrastante frente a eventos de estrés hídrico (Tabla 1), y sus seis híbridos derivados (sin incluir cruzamientos recíprocos): LP2542xLP29, LP2542xLP4703, LP29xLP4703, LP29xLP923, LP923xLP2542 y LP923xLP4703.

Tabla 1: Información general de las líneas.

Línea endocriada	Año de liberación	Tipo de Grano	Habilidad Combinatoria	Comportamiento a estrés hídrico*
LP29	2004	Semiflint anaranjado	F/D	Susceptible
LP2542	2005	Dentado amarillo	F	Altamente tolerante
LP4703	2006	Flint colorado	D	Tolerante
LP923	2011	Semiflint	F/D	Medianamente Tolerante

Habilidad combinatoria: F: buen comportamiento vs material Flint; D: buen comportamiento vs material Dentado.

*Comportamiento determinado como porcentaje de disminución del rendimiento en sequía respecto del control, en estudios previos (Ruiz y Eyhéabide, 2015).

2.2. Descripción y conducción del experimento

El ensayo se llevó a cabo en INTA - EEA Pergamino (33° 56' S, 60° 33' W) durante la campaña 2015/2016. La siembra manual de las líneas LP2542, LP4703 y LP923 se realizó el 16 de noviembre de 2015. Los híbridos y la línea LP29, se sembraron el 24 y 25 de noviembre de 2015, con el fin de uniformar las fechas de floración de los diferentes materiales.

Cada parcela estuvo conformada de tres surcos de 6 m de largo, distantes a 0,7 m entre sí. El germoplasma se distribuyó en un diseño de parcelas divididas con 3 bloques completos. La parcela principal estuvo dada por la oferta hídrica disponible ("Riego": R; "Secano": S) y en su interior se distribuyeron al azar los genotipos y las dos densidades a utilizar: "Baja densidad" (BD: 7 plantas m⁻²) y "Alta densidad" (AD: 12 plantas m⁻²) (Anexo 1).

El sitio experimental fue fertilizado con 40 kg Fósforo (P) ha⁻¹ y 36 kg Nitrógeno (N) ha⁻¹ a la siembra, utilizando fosfato diamónico (18-20-0) como fuente. En el estadio de 6

hojas liguladas (V6), se fertilizó con 200 kg N ha⁻¹ mediante la aplicación de urea granulada (46-0-0).

Para el control de malezas en pre-emergencia se aplicó atrazina 50% (2-cloro-4-(etilamina)-6-(isopropilamina)-s-triazina) + glifosato (N-fosfometilglicina). Durante el ciclo de cultivo, las malezas se controlaron manualmente y mediante la aplicación con mochila de: Paraquat 20% (Dicloruro de 1,1'-dimetil-4,4'-bipiridilo).

En el tratamiento bajo riego, se aplicó riego por aspersión manteniendo la porción superior del perfil cerca de capacidad de campo durante toda la estación de crecimiento para prevenir el déficit hídrico.

2.3. Evaluaciones fenotípicas

En el estado de tres hojas liguladas (V3, de acuerdo a la escala de Ritchie y Hanway (1982)) se marcaron 7 y 12 plantas (equivalente a un metro cuadrado en los tratamientos de BD y AD, respectivamente) del surco central en plena competencia, sobre las cuales se realizaron las siguientes determinaciones:

- Fecha de antesis (cuando hubo al menos una antera visible): Se determinó diariamente, a partir del primer evento.
- Fecha de *silking* (cuando se detectó la emisión de al menos un estigma): Se determinó diariamente, a partir del primer evento.
- Intervalo antesis-*silking* (ASI, en días): Se calculó como la diferencia en días entre la fecha de antesis y de *silking* de cada planta marcada.
- Biomasa aérea por planta (BA, en g planta⁻¹): En madurez fisiológica, se cosecharon individualmente todas las plantas marcadas. Las cuales fueron secadas en estufa a 65°C hasta peso constante. Se distinguieron las fracciones grano, espiga y resto.
- Número de granos por planta (NGP, en granos planta⁻¹) y por unidad de superficie (NGm⁻², en granos m⁻²): se obtuvo a través del conteo manual de los mismos. El NGm⁻² se calculó como el producto del NGP por el número de plantas por m².
- Rendimiento en grano por planta (RGP, en g planta⁻¹) y por unidad de superficie (RGm⁻², en g m⁻²): las espigas granadas de cada planta se separaron del resto del material vegetal, se trillaron manualmente y se pesaron los granos

de cada espiga para obtener el rendimiento en grano. El RGm^{-2} se calculó como el producto del RGP por el número de plantas por m^2 .

- Peso de mil granos (PMG, en g): se calculó como el cociente entre el RGP y el NGP, multiplicado por mil.
- Índice de Cosecha (IC): Se calculó como el cociente entre el RGP y la biomasa por planta.

En la Tabla 2 se presenta un resumen de todas las variables fenotípicas evaluadas en la población bajo estudio.

Tabla 2: Resumen de variables fenotípicas evaluadas.

Variable	Definición	Cálculo
Antesis	Fecha de antesis	
Silking	Fecha de <i>silking</i>	
ASI	Intervalo antesis- <i>silking</i> (días)	$\text{ASI} = \text{fecha } \textit{silking} - \text{fecha antesis}$
BAP	Biomasa aérea por planta (g planta^{-1})	
NGP	Número de granos por planta ($\text{granos planta}^{-1}$)	
NGm^{-2}	Número de granos por metro cuadrado (granos m^{-2})	$\text{NGm}^{-2} = \text{NGP} * \text{número de plantas m}^{-2}$
RGP	Rendimiento en grano por planta (g planta^{-1})	$\text{RG} = \text{NGP} * \text{PG}$
PMG	Peso de mil granos (g)	$\text{PG} = \text{RG} / \text{NGP} * 1000$
RGm^{-2}	Rendimiento en grano por metro cuadrado (g m^{-2})	$\text{RGm}^{-2} = \text{NGm}^{-2} * \text{PG}$
IC	Índice de cosecha	$\text{IC} = \text{RGP} / \text{BAP}$

Los datos climáticos de la campaña 2015-2016 fueron recopilados por el observatorio meteorológico situado dentro del predio del INTA - EEA Pergamino. Se utilizó la información referente a temperaturas en abrigo meteorológico (mínima, media y máxima, en °C) y precipitaciones (en mm). Todos los datos fueron registrados diariamente.

2.4. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente utilizando el programa INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2013).

Previa comprobación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó el análisis de la varianza (ANOVA) de acuerdo al modelo siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu_{\dots} + \rho_{i\dots} + \alpha_{j\dots} + \gamma_{ij\dots} + \beta_{\dots k} + \delta_{\dots l} + (\alpha\beta)_{jk} + (\alpha\delta)_{jl} + (\beta\delta)_{kl} + (\alpha\beta\delta)_{jkl} + \varepsilon_{ijkl}$$

donde μ_{\dots} es la media general; $\rho_{i\dots}$ es el efecto de i-ésimo bloque ($i=1, 2, 3$); $\alpha_{j\dots}$ es el efecto de j-ésimo nivel de agua ($j=0,1$); $\gamma_{ij\dots}$ es el error de la parcela principal (error a, tipo1); $\beta_{\dots k}$ es el efecto del k-ésimo nivel de densidad ($k=A, B$); $\delta_{\dots l}$ es el efecto l-ésimo genotipo ($l= 1, 2, \dots, 10$); $(\alpha\beta)_{jk}$ es el efecto de interacción entre el j-ésimo nivel de agua y

el k-ésimo nivel de densidad; $(\alpha\delta)_{j,l}$ es el efecto de la interacción entre el j-ésimo nivel de agua y el l-ésimo genotipo; $(\beta\delta)_{..kl}$ es el efecto de la interacción del k-ésimo nivel de densidad y el l-ésimo genotipo; $(\alpha\beta\delta)_{,jkl}$ es la triple interacción entre el j-ésimo nivel de agua, el k-ésimo nivel de densidad y el l-ésimo genotipo; ϵ_{ijk} es el error de la subparcela (error b, tipo 2).

Se computaron también, las correlaciones fenotípicas de Pearson entre rasgos analizados (r).

Las reducciones de las diferentes variables analizadas (RGP, BA, NG, IC y PMG) y el incremento del ASI al pasar de la situación menos restrictiva a la de mayor restricción se calcularon como la sustracción de los valores de dichas variables en la condición ambiental de S-AD menos los valores en la condición R-BD.

La heterosis se calculó en base al progenitor medio, empleando la siguiente fórmula:

$$H_{PM} (\%) = \frac{F_1 - \frac{1}{2}(P_1 + P_2)}{\frac{1}{2}(P_1 + P_2)} \times 100$$

donde: F_1 : media de la primera generación de la cruce entre los dos progenitores (P_1 y P_2); $\frac{1}{2}(P_1 + P_2)$: media de los progenitores para el carácter en cuestión.

Para estimar los efectos de Aptitud Combinatoria General (ACG) y Aptitud Combinatoria Específica (ACE) del RGP y ASI, se realizó un análisis dialélico, utilizando el modelo 1 o de efectos fijos y el método 2 de Griffing (1956), empleando el programa AGD-R (Rodríguez, *et al.*, 2015). Se utilizó dicho método en el cual se incluyen los parentales, debido a que el análisis de aptitud combinatoria, determinará que líneas combinar para iniciar una población de mejora o una variedad sintética futura.

Si bien la estimación de la varianza aditiva y de la varianza de dominancia no es un procedimiento válido en un dialélico con un modelo de efectos fijos, la ecuación propuesta por Baker (1978) ha sido utilizada para determinar la importancia relativa de ACG y ACE (Rood y Major, 1980; Betrán *et al.*, 2003; Munaro, 2013). Para el cálculo de la contribución relativa de los efectos de ACG (ACG_{CR}) en el desempeño de la progenie, se utilizó la siguiente relación entre los componentes de varianzas correspondientes:

$$ACG_{CR} = (2 V_{ACG} / (2 V_{ACG} + V_{ACE})) \times 100,$$

donde V_{ACG} y V_{ACE} son los componentes de varianza debido a los efectos de aptitud combinatoria general y específica, respectivamente. A medida que dicho cociente se acerca al valor de 1, la importancia de la ACG en la determinación del atributo es mayor.

Las heredabilidades en sentido estricto (h^2) y en sentido amplio (H) se calcularon en base a las siguientes fórmulas:

$$h^2 = 2 V_{ACG} / (2 V_{ACG} + V_{ACE} + V_e),$$

$$H = (2 V_{ACG} + V_{ACE}) / (2 V_{ACG} + V_{ACE} + V_e),$$

donde V_{ACG} es el componente de varianza debido a los efectos de aptitud combinatoria general, V_{ACE} es el componente de varianza debido a los efectos de aptitud combinatoria específica y V_e es la varianza del error.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Variabilidad genotípica.

En el Anexo 2 se presenta el gráfico de la evolución de las variables meteorológicas para el período que abarca desde el 1 de Noviembre de 2015 al 30 de Marzo de 2016. La temperatura media durante dicho período fue de 20° C. El total de precipitaciones durante el cultivo fue de 915,1 mm; siendo 7,2 mm el valor de precipitaciones medias diarias durante el período de crítico de generación del rendimiento (1 de febrero \pm 15 días).

En base a los tratamientos aplicados se determinaron 4 ambientes contrastantes: i) Secano-Alta Densidad (S-AD), ii) Secano-Baja Densidad (S-BD), iii) Riego-Alta Densidad (R-AD) y iv) Riego-Baja Densidad (R-BD). En la Tabla 3 se presentan las medidas resumen y los promedios por ambiente de cada variable. Para los rasgos registrados por planta individual, la situación ambiental S-AD presentó los menores valores y R-BD los mayores, por lo que se los consideró como ambientes más y menos restrictivos, respectivamente.

A medida que las condiciones ambientales fueron más restrictivas, tanto las líneas endocriadas como los híbridos, demostraron un aumento en el ASI. Se destacaron la línea LP923 y los híbridos LP29xLP923 y LP29xLP4703 por presentar menor asincronía floral en todas las condiciones ambientales (Figura 1, Anexo 3). Asimismo, LP923 y el híbrido LP29xLP923 mostraron menor incremento de los valores ASI obtenidos en las condiciones ambientales más restrictivas (S-AD) con respecto a las menos restrictivas (R-BD) de 1,09 y 1,86 días, respectivamente (Tabla 4).

En trabajos previos, Ruiz y Eyhérbide (2015), caracterizaron en condiciones de estrés hídrico controlado a campo, líneas endocriadas e híbridos de maíz del programa de mejoramiento de INTA-EEA Pergamino, entre las que se incluyen algunos genotipos evaluados en este trabajo como LP29, LP2542, LP4703, LP923, LP2542xLP29, LP923xLP4703 y LP29xLP4703. En el tratamiento control, dichos autores registraron valores de ASI de 2,47 y 1,4 días para las líneas y los híbridos respectivamente, mientras que bajo estrés hídrico durante la etapa de floración las líneas presentaron valores de ASI de 3,39 días y los híbridos ASI de 6,06 días. En este trabajo los valores de ASI promedio para las líneas (2,19 días) y los híbridos (1,67 días) bajo las condiciones ambientales menos restrictivas (R-BD) fueron similares a los obtenidos por Ruiz y Eyhérbide (2015). Sin embargo, bajo las condiciones ambientales con mayor restricción (S-AD) las líneas presentaron mayor asincronía floral (6,43 días) mientras que los híbridos se vieron menos

afectados (4,71 días).

Los valores de los demás atributos y componentes numéricos del rendimiento disminuyeron al reducirse la oferta de agua y aumentar la densidad de plantas. En dichas condiciones ambientales (S-AD), las líneas que sobresalieron por su comportamiento fueron LP923 para RGP, BA, NGP, NGm^{-2} RGm^{-2} e IC, y LP29 para PMG. Los híbridos que se distinguieron en condiciones ambientales restrictivas fueron LP29xLP923 para ASI, RGP, RGm^{-2} e IC; LP923xLP2542 para BA; LP923xLP4703 para NGP y NGm^{-2} y LP2452xLP29 para PMG (Figura 1, Anexo 3).

El cálculo de la reducción del rendimiento en la condición de mayor restricción respecto a la de menor indica que algunos genotipos sufrieron disminuciones muy importantes mientras que otros no, lo que los posicionaría como tolerantes (Tabla 4). En el caso de las líneas parentales, teniendo como límite una reducción del 50%, se podría considerar como de mejor aptitud para tolerar las condiciones de estrés a la línea LP923, mientras que LP29, LP2542 y LP4703 resultaron sensibles, con una reducción en el RGP del 77, 75 y 72%, respectivamente. Ruiz y Eyhéabide (2015) observaron un 70% de reducción del rendimiento en la línea LP29 considerándola como susceptible al estrés, en coincidencia con lo obtenido en este trabajo. Sin embargo, LP2542 y LP4703 no se comportaron como tolerantes al estrés por sequía, según lo observado por Ruiz y Eyhéabide (2015), posiblemente debido a las diferentes condiciones ambientales impuestas. Con respecto a los híbridos, la reducción del rendimiento promedio fue de 52% y varió entre 42,43 y 65,07%, siendo menor a la obtenida por Ruiz y Eyhéabide (2015). Se destacó LP923xLP4703 como el más tolerante, con una reducción de RGP de 42,43%. El LP29xLP2542 (65%) fue el más sensible, coincidiendo con Ruiz y Eyhéabide (2015).

Tabla 3: Resumen de medidas estadísticas de las variables analizadas: número total de genotipos evaluados en las tres repeticiones (n); Media \pm Desvío Estándar (D.E.); Coeficiente de Variación (C.V); Valor mínimo (Mín.); Valor máximo (Máx.); Promedios de Líneas y de los Híbridos \pm Desvío Estándar.

Variable	Ambiente	n	Media \pm D.E.	C.V.	Mín.	Máx.	Media Líneas \pm D.E.	Media Híbrido \pm D.E.
ASI (días)	S-AD	30	5,4 \pm 2,33	43,1	1,58	11,82	6,43 \pm 3,2	4,71 \pm 1,2
	S-BD	30	3,32 \pm 1,46	44,0	0,71	5,57	3,54 \pm 1,7	3,18 \pm 1,3
	R-AD	30	2,93 \pm 1,43	48,9	0,45	5,67	2,7 \pm 1,6	3,08 \pm 1,3
	R-BD	30	1,88 \pm 1,32	70,1	-0,57	4,86	2,19 \pm 1,7	1,67 \pm 1,0
	General	120	3,38 \pm 2,1	62,1	-0,57	11,82	3,71 \pm 2,7	3,16 \pm 1,6
BA (g planta ⁻¹)	S-AD	30	142,08 \pm 41,48	29,2	49,17	215,19	102,41 \pm 25,1	168,53 \pm 26,0
	S-BD	30	217,29 \pm 57,91	26,7	121,5	352,41	161,26 \pm 25,0	254,64 \pm 40,3
	R-AD	30	190,99 \pm 38,53	20,2	102,67	257,87	162,34 \pm 36,0	210,09 \pm 27,0
	R-BD	30	281,55 \pm 63,85	22,7	184,9	396,33	222,68 \pm 41,7	320,8 \pm 41,9
	General	120	207,98 \pm 71,73	34,5	49,17	396,33	162,17 \pm 53,4	238,51 \pm 66,1
NGP	S-AD	30	235,09 \pm 113,26	48,2	27,08	435,09	128,3 \pm 68,8	306,29 \pm 73,5
	S-BD	30	369,46 \pm 134,05	36,3	86,6	603,36	231,12 \pm 77,9	461,69 \pm 64,9
	R-AD	30	343,22 \pm 81,16	23,7	164,13	451,79	281,66 \pm 89,5	384,26 \pm 40,0
	R-BD	30	471,3 \pm 105,11	22,3	237,79	624,21	376,4 \pm 93,8	534,56 \pm 50,6
	General	120	354,77 \pm 137,57	38,8	27,08	624,21	254,37 \pm 121,0	421,7 \pm 103,3
RGP	S-AD	30	58,1 \pm 29,14	50,2	4,72	108,98	29,06 \pm 16,0	77,46 \pm 17,0
	S-BD	30	95,61 \pm 40,74	42,6	22,05	171,02	52,31 \pm 14,3	124,48 \pm 22,2
	R-AD	30	86,92 \pm 25,49	29,3	29,99	127,9	64,55 \pm 20,9	101,84 \pm 15,4
	R-BD	30	134,06 \pm 43,39	32,4	63,31	198,14	90,78 \pm 25,6	162,92 \pm 24,2
	General	120	93,67 \pm 44,4	47,4	4,72	198,14	59,17 \pm 29,5	116,67 \pm 37,3
IC	S-AD	30	0,38 \pm 0,13	33,6	0,1	0,54	0,27 \pm 0,1	0,46 \pm 0,1
	S-BD	30	0,42 \pm 0,1	22,8	0,15	0,55	0,33 \pm 0,1	0,49 \pm 0,0
	R-AD	30	0,45 \pm 0,06	13,2	0,29	0,53	0,39 \pm 0,1	0,48 \pm 0,0
	R-BD	30	0,47 \pm 0,07	14,8	0,3	0,56	0,4 \pm 0,1	0,51 \pm 0,0
	General	120	0,43 \pm 0,1	22,5	0,1	0,56	0,35 \pm 0,1	0,48 \pm 0,0
NGm ⁻²	S-AD	30	2821,1 \pm 1359,11	48,2	324,96	5221,08	1539,62 \pm 826,0	3675,42 \pm 881,8
	S-BD	30	2586,25 \pm 938,34	36,3	606,2	4223,52	1617,85 \pm 545,6	3231,85 \pm 454,0
	R-AD	30	4118,62 \pm 973,97	23,7	1969,56	5421,48	3379,93 \pm 1073,5	4611,09 \pm 480,2
	R-BD	30	3299,1 \pm 735,79	22,3	1664,53	4369,47	2634,81 \pm 656,3	3741,95 \pm 354,5
	General	120	3206,27 \pm 1172,25	36,6	324,96	5421,48	2293,05 \pm 1092,1	3815,08 \pm 757,6
RGm ⁻²	S-AD	30	697,19 \pm 349,63	50,2	56,64	1307,76	348,72 \pm 192,5	929,5 \pm 204,2
	S-BD	30	669,3 \pm 285,18	42,6	154,35	1197,14	366,17 \pm 100,0	871,38 \pm 155,4
	R-AD	30	1043,06 \pm 305,87	29,3	359,88	1534,8	774,58 \pm 250,6	1222,05 \pm 184,8
	R-BD	30	938,44 \pm 303,76	32,4	443,17	1386,98	635,44 \pm 179,1	1140,44 \pm 169,2
	General	120	837 \pm 346,71	41,4	56,64	1534,8	531,23 \pm 258,0	1040,84 \pm 228,2
PMG (g)	S-AD	30	245,44 \pm 36,18	14,7	151,7	295,9	230,07 \pm 44,9	255,7 \pm 25,5
	S-BD	30	256,33 \pm 40,36	15,8	160,17	307,02	236,27 \pm 47,8	269,7 \pm 28,8
	R-AD	30	250,79 \pm 31,86	12,7	182,72	304,78	230,04 \pm 31,6	264,62 \pm 24,1
	R-BD	30	279,63 \pm 43,67	15,6	191,27	339,32	242,99 \pm 37,8	304,07 \pm 27,3
	General	120	258,05 \pm 40	15,5	151,7	339,32	234,84 \pm 40,0	273,52 \pm 31,8

Figura 1: Valores promedio obtenidos para las líneas e híbridos en cada una de las variables analizadas (ASI: Intervalo antesis-*silking*, BAP: Biomasa aérea por planta, NGP: Número de granos por planta, NGm⁻²: Número de granos por metro cuadrado, RGP: Rendimiento en grano por planta, PMG: Peso de mil granos, RGM⁻²: Rendimiento en grano por metro cuadrado e IC: Índice de cosecha), bajo cuatro condiciones ambientales contrastantes (■ S-AD: Secano-Alta densidad, ▨ S-BD: Secano-Baja densidad, ▩ R-AD: Riego-Alta densidad, ▪ R-BD: Riego-Baja densidad).

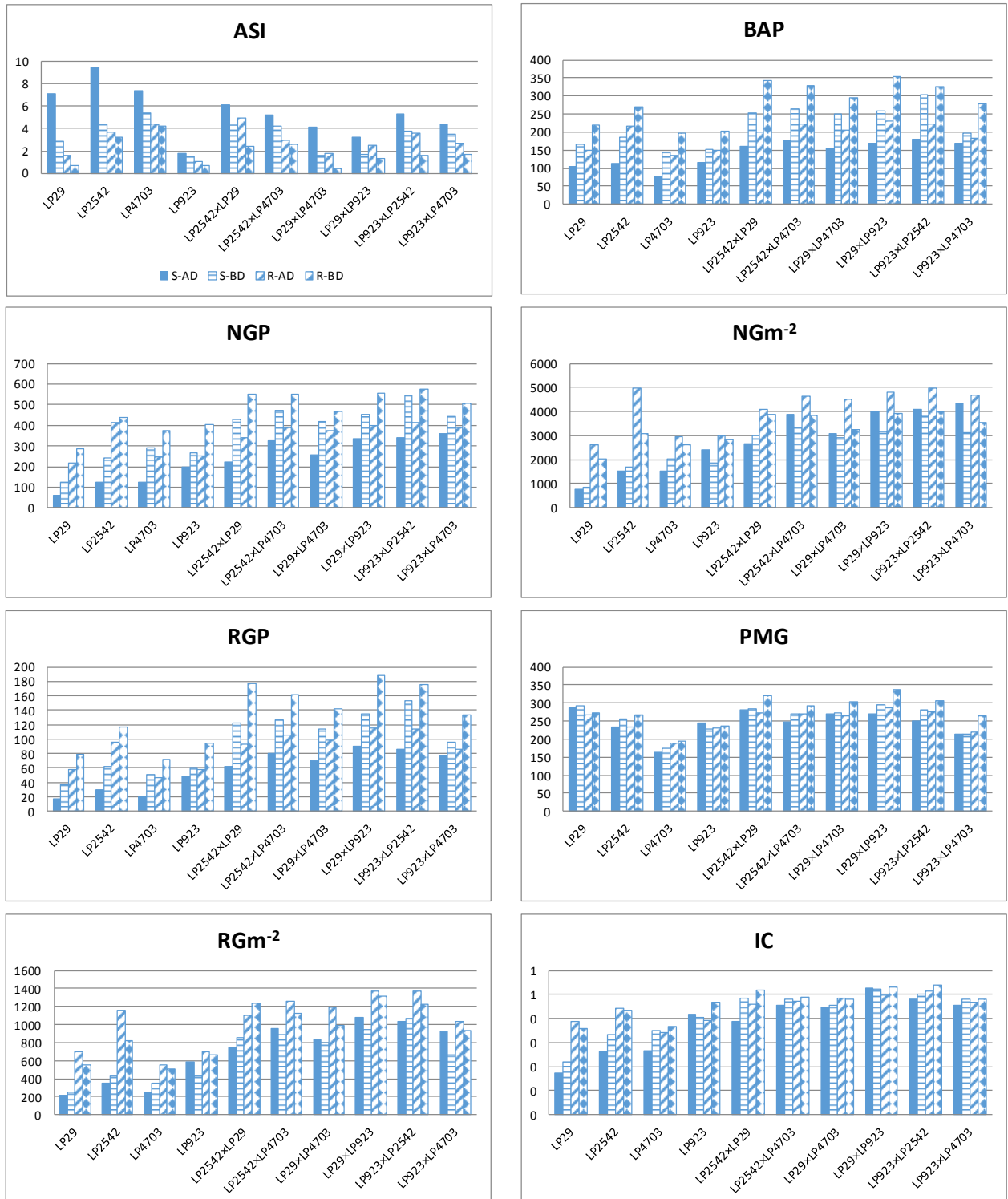


Tabla 4: Incremento del Intervalo anthesis-*silking* (ASI en días) y reducción de Biomasa aérea (BA en g pl⁻¹), Número de granos por planta (NGP en granos pl⁻¹), Rendimiento en grano por planta (RGP en g pl⁻¹), Índice de cosecha (IC) y Peso de mil granos (PMG en g) de los genotipos en la condición más limitante (SAD: Secano-Alta densidad) respecto de la de menor restricción (RBD: Riego-Baja densidad), expresado en sus respectivas unidades y en porcentaje (%).

Genotipos	ASI (días)			BA (g planta ⁻¹)		NGP (granos planta ⁻¹)		RGP (g planta ⁻¹)		IC		PGM (g)	
	RBD - SAD	RBD - SAD	%	RBD - SAD	%	RBD - SAD	%	RBD - SAD	%	RBD - SAD	%	RBD - SAD	%
LP29	6,4	115,73	52,70	225,77	78,32	60,62	77,24	0,19	51,89	-13,52	-4,96		
LP2542	6,27	158,73	58,58	313,31	71,42	88,14	75,11	0,17	39,90	34,50	12,90		
LP4703	3,18	120,47	60,91	248,85	66,40	51,86	71,72	0,10	27,65	30,56	15,84		
LP923	1,09	86,14	42,57	204,48	50,63	46,25	48,70	0,05	10,68	-9,19	-3,91		
LP2542xLP29	3,71	182,90	53,41	332,22	60,09	115,24	65,07	0,13	25,02	39,96	12,47		
LP2542xLP4703	2,60	152,22	46,35	226,44	41,21	81,23	50,41	0,04	7,56	45,88	15,64		
LP29xLP4703	3,68	139,45	47,22	208,80	44,69	71,62	50,65	0,03	6,50	32,59	10,77		
LP29xLP923	1,86	183,46	51,87	224,89	40,33	98,41	52,27	0,00	0,84	67,54	20,00		
LP923xLP2542	3,70	145,44	44,71	231,01	40,29	89,41	50,93	0,06	11,25	54,54	17,81		
LP923xLP4703	2,68	110,15	39,40	146,31	28,86	56,86	42,43	0,02	5,00	50,42	19,07		

Los resultados obtenidos del análisis de varianza para cada variable se presentan en la Tabla 5. Se detectaron diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) entre genotipos y entre densidades para todas las variables bajo estudio (RGP, ASI, BA, NGP, IC, NGm^{-2} , RGm^{-2} y PMG) y significativas entre ofertas hídricas ($p < 0,05$) para las variables en cuestión, excepto PMG. Las interacciones mostraron también diferencias significativas en la mayoría de los casos, excepto Riego x Densidad para RGP, BA, NGP, IC y RGm^{-2} ; Riego x Genotipo para BA; Densidad x Genotipo para IC. La triple interacción solo fue significativa para ASI.

Tabla 5: Valores de Cuadrados Medios (CM) obtenidos del análisis de varianza.

	Riego (R)	Densidad (D)	Genotipo (G)	R*D	R*G	D*G	R*D*G
RGP	33941,75 *	53749,36 ****	12645,81 ****	695,00 ns	457,6 *	1048,7 ****	191,7 ns
ASI	114,74 *	73,16 ****	21,95 ****	7,84 **	3,22 ***	1,99 **	2,27 **
BA	96054,17 *	206090,24 ****	23426,20 ****	1767,09 ns	1010,4 ns	1991,4 **	636,5 ns
NGP	330631,36 *	516611,83 ****	110267,54 ****	296,89 ns	10354,3 ***	6391,8 *	2142,7 ns
IC	0,09 **	0,0300 ***	0,0800 ****	0,0035 ns	0,0100 ****	0,0018 ns	0,0027 ns
NGm^{-2}	30311946,73 *	8337889,43 ****	9245609,88 ****	2563851,03 **	1040319,6 ***	520045,9 **	350547,3 ns
RGm^{-2}	2836884,3 *	131702,35 **	996355,5 ****	44156,96 ns	46090,91 **	22195,91 ns	23753,67 ns
PMG	6154,54 ns	11840,22 ****	15217,54 ****	2420,24 *	576,78 *	568,56 *	276,52 ns

Representan *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$; ****: $p < 0,0001$; ns: no significativo.

En el análisis de correlaciones entre variables a través de la matriz de los coeficientes de Pearson (r), se encontró que existe correlación positiva significativa ($p < 0,0001$) entre la mayoría de los rasgos, con valores de r entre 0,39 y 0,96. El ASI se correlacionó en forma negativa significativa ($p < 0,0001$) con todas las variables, presentando valores r entre -0,34 y -0,50. El rendimiento por planta presentó mayor correlación con NGP ($r=0,95$) que con

PMG ($r=0,63$) (Tabla 6). De acuerdo con otros reportes bibliográficos (Cirilo y Andrade, 1994a; Otegui *et al.*, 1995; Westgate *et al.*, 2004; Fischer, 2008), el NGP fue el principal componente determinante del RGP. Sólo en el ambiente R-AD, el PMG tuvo una correlación mayor con el RGP ($r=0,85$).

Cuando se calcularon las correlaciones entre variables por cada ambiente (Tabla 7), se encontró que el ASI presentó mayor asociación con el RGP, NGP e IC en el ambiente con mayor estrés ($r=-0,65$; $-0,63$ y $-0,73$, respectivamente), es decir que tanto el rendimiento, el número de granos y el índice de cosecha por planta incrementaron cuando la asincronía floral fue menor. Bajo estrés hídrico en floración, Bolaños y Edmeades (1996) hallaron moderada a fuerte asociación del RGP y número de granos por espiga (NGE) con el ASI ($r=-0,4$ a $-0,7$). Otros autores han reportado similares correlaciones entre ASI y RGP en una amplia gama de germoplasma (Chapman y Edmeades, 1999; Monneveux *et al.*, 2006).

Tabla 6: Matriz de los coeficientes de Pearson (r) entre las variables en estudio (ASI: Intervalo antesis-*silking*, RGP: Rendimiento en grano por planta, NGP: Número de granos por planta, BA: Biomasa aérea por planta e IC: Índice de cosecha).

	ASI	RGP	NGP	PMG	BA	IC
ASI	1					
RGP	-0,50	1				
NGP	-0,49	0,95	1			
PMG	-0,34	0,63	0,39	1		
BA	-0,50	0,96	0,91	0,64	1	
IC	-0,48	0,79	0,82	0,40	0,64	1

Tabla 7: Matriz de coeficiente de Pearson (r) por ambiente entre las variables en estudio (ASI: Intervalo anthesis-*silking*, RGP: Rendimiento en grano por planta, NGP: Número de granos por planta, BA: Biomasa aérea por planta e IC: Índice de cosecha).

	ALTA DENSIDAD						BAJA DENSIDAD						
	ASI	RGP	NGP	PMG	BA	IC	ASI	RGP	NGP	PMG	BA	IC	
SECANO	ASI	1					ASI	1					
	RGP	-0,65	1				RGP	-0,32	1				
	NGP	-0,63	0,97	1			NGP	-0,24	0,95	1			
	PMG	-0,33	0,46	0,26	1		PMG	-0,45	0,59	0,34	1		
	BA	-0,48	0,92	0,89	0,44	1	BA	-0,26	0,94	0,85	0,66	1	
	IC	-0,73	0,93	0,91	0,43	0,75	1	IC	-0,36	0,89	0,92	0,41	0,70
RIEGO	ASI	1					ASI	1					
	RGP	-0,23	1				RGP	-0,41	1				
	NGP	-0,15	0,93	1			NGP	-0,34	0,94	1			
	PMG	-0,40	0,77	0,51	1		PMG	-0,50	0,85	0,66	1		
	BA	-0,10	0,94	0,89	0,65	1	BA	-0,35	0,95	0,89	0,80	1	
	IC	-0,37	0,90	0,82	0,79	0,70	1	IC	-0,48	0,88	0,87	0,76	0,70

3.2. Heterosis

Los valores de heterosis calculados en base al Progenitor Medio se presentan en la Tabla 8. El híbrido LP29xLP923 presentó los mayores valores de heterosis para NGP y RGP en la mayoría de las condiciones ambientales, excepto la más limitante (S-DA), donde se destacó LP29xLP4703. Para BA e IC, las mejores combinaciones fueron variadas de acuerdo a la condición ambiental.

Los mayores valores de heterosis para todos los atributos analizados fueron registrados frente a condiciones ambientales más restrictivas (S-AD), conforme con los reportes de la literatura que sugieren un incremento de la misma con el aumento en la densidad de plantas o un déficit hídrico (Echarte y Tollenaar, 2006; Liu y Tollenaar, 2009). Los resultados de este trabajo corroboran, la noción de que la expresión de la heterosis varía con las condiciones ambientales exploradas por las plantas y su contribución a la tolerancia a estrés aumenta ante la presencia de estreses como déficit hídrico y alta densidad de plantas (Betrán *et al.*, 2003; Liu y Tollenaar, 2009).

Tabla 8: Valores de heterosis calculados en base al Progenitor Medio (H_{PM} (%)) para los genotipos para las variables bajo estudio (ASI: Intervalo antesis-*silking*, RGP: Rendimiento en grano por planta, NGP: Número de granos por planta, BA: Biomasa aérea por planta e IC: Índice de cosecha) para cuatro condiciones ambientales (S-AD: Secano-Alta densidad, S-BD: Secano-Baja densidad, R-AD: Riego-Alta densidad y R-BD: Riego-Baja densidad).

Variable	Genotipos	S-AD	S-BD	R-AD	R-BD
A S I	LP2542×LP29	-26,25	19,65	88,50	23,53
	LP2542×LP4703	-37,96	-13,56	-27,15	-28,97
	LP29×LP4703	-43,06	-62,11	-42,47	-82,43
	LP29×LP923	-28,02	-21,11	85,80	93,24
	LP923×LP2542	-6,48	28,18	51,84	-19,49
	LP923×LP4703	-4,32	0,53	-1,57	-30,12
R G P	LP2542×LP29	162,89	149,81	19,92	80,88
	LP2542×LP4703	221,87	126,32	47,28	69,94
	LP29×LP4703	264,34	163,99	90,44	87,56
	LP29×LP923	169,96	178,08	98,07	117,10
	LP923×LP2542	121,10	149,78	48,28	65,37
	LP923×LP4703	123,07	71,02	64,57	60,22
N G P	LP2542×LP29	134,93	135,69	7,88	52,11
	LP2542×LP4703	157,10	77,85	17,70	35,10
	LP29×LP4703	174,26	101,84	62,31	40,93
	LP29×LP923	154,05	132,08	71,05	61,11
	LP923×LP2542	110,80	114,90	24,60	36,09
	LP923×LP4703	121,69	59,17	56,56	30,20
B A	LP2542×LP29	47,66	44,17	9,55	39,61
	LP2542×LP4703	85,91	60,55	26,08	40,12
	LP29×LP4703	41,64	58,51	37,37	39,97
	LP29×LP923	54,70	63,77	54,15	67,65
	LP923×LP2542	57,46	80,96	21,32	37,46
	LP923×LP4703	75,06	34,02	29,22	39,73
I C	LP2542×LP29	79,44	75,40	10,86	30,86
	LP2542×LP4703	72,87	40,47	20,27	22,87
	LP29×LP4703	105,16	59,96	32,91	32,46
	LP29×LP923	78,60	67,53	28,48	28,78
	LP923×LP2542	40,99	36,67	23,67	19,61
	LP923×LP4703	33,22	27,83	27,74	14,83

3.3. Análisis dialélico

Se realizó un análisis dialélico multiambiental mediante el método 2 de Griffing y modelo de efectos fijos (Tabla 9). El análisis de varianza combinado indicó un efecto ambiental y del genotipo de gran magnitud sobre ASI y RGP ($p < 0,0001$). El efecto del ambiente fue siempre muy superior al del genotipo y la interacción Genotipo x Ambiente,

revelando la diversidad de ambientes explorados. Se encontraron diferencias altamente significativas para ACE en ambas variables ($p < 0,01$), mientras que la ACG solo presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) para ASI. Esto indicaría que, para RGP, intervienen efectos no aditivos en la expresión del carácter en todos los ambientes evaluados, mientras que para ASI son importantes tanto los efectos aditivos como los no aditivos.

La ACG no presentó interacción con el ambiente, indicando que los efectos de ACG de las líneas parentales fueron consistentes a través de los distintos ambientes, por lo que se pueden establecer líneas endocriadas con mejor habilidad combinatoria general. Para la variable ASI, los valores de ACG obtenidos se encontraron entre -0,93 y -0,86 días. Se destacó LP923, con un efecto promedio de ACG que disminuye la asincronía floral (-0,93 días) la cual además presentó el menor valor de ASI promedio a través de todos los ambientes (1,3 días). Para el carácter RGP, LP2542 sobresalió en todos los ambientes con un ACG= 7,98 g planta⁻¹ y un RGP promedio de 76,1 g planta⁻¹ y la de menor ACG fue LP4703 (ACG= -8,52 g planta⁻¹, RGP promedio= 47,4 g planta⁻¹) (Tabla 10). Para ambas variables se observó asociación entre el valor de las líneas *per se* y su valor de ACG, por lo que se podría sugerir que la selección basada en el fenotipo de una línea sería equivalente a la basada en los efectos de ACG, para el grupo particular de líneas bajo estudio. Munaro (2013) realizó un análisis dialélico en 8 ambientes con diferentes condiciones de estrés y encontró valores de ACG a través de ambientes entre -2,36 y 1,25 días para ASI y entre -0,19 y 8,79 g planta⁻¹ para RGP. Sin embargo no encontró correlación significativa entre los valores de las líneas *per se* y su ACG para RGP. Por otro lado, Betrán *et al.* (2003) y Welcker *et al.* (2005), hallaron una fuerte asociación entre ACG para RGP y el valor *per se* de las líneas en condiciones de baja disponibilidad de nitrógeno o de suelos ácidos.

Tabla 9: Análisis de varianza para ASI (Intervalo antesis-*silking*) y RGP (Rendimiento en grano por planta) correspondiente al dialélico multiambiental, método 2 de Griffing, modelo de efectos fijos (GL: grados de libertad; CM: cuadrados medios; F: valor del estadístico F; Pr (>F): valor de probabilidad)

	GL	ASI			RGP		
		CM	F	Pr(>F)	CM	F	Pr(>F)
Ambiente	3	65,249	101,8	7,74 10 ⁻²⁶ *****	29462	162,8	5 10 ⁻³² *****
Rep (Ambiente)	8	2,2588	3,524	0,001	509,91	2,818	0,00891
Genotipo	9	21,946	8,804	4,8 10 ⁻⁶ *****	12646	22,34	3 10 ⁻¹⁰ *****
ACG	3	46,08	3,981	0,015 *	4006,1	0,237	0,86 ns
ACE	6	9,8782	5,125	0,003 **	16966	28,53	3 10 ⁻⁸ *****
Genotipo x Ambiente	27	2,4927	3,889	2,2 10 ⁻⁶ *****	565,97	3,128	6 10 ⁻⁵ *****
ACG x Ambiente	9	3,6231	1,88	0,12 ns	508,8	0,856	0,57 ns
ACE x Ambiente	18	1,9276	3,008	4,8 10 ⁻⁴ ****	594,56	3,286	2 10 ⁻⁴ ****
Error	72	0,6409			180,93		

Representan * p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001; **** p<0,0001; ***** p<0,0001; ns: no significativo.

Tabla 10: Valores de Aptitud Combinatoria General (ACG) y promedio de las líneas parentales para las variables Rendimiento en grano por planta (RGP) e Intervalo antesis-*silking* (ASI) a través de todos los ambientes.

Genotipo	ASI (días)		RGP (granos pl ⁻¹)	
	ACG	Promedio	ACG	Promedio
LP29	-0,37 ****	3,1	-3,63 ***	47,6
LP2542	0,86 *****	5,2	7,98 *****	76,1
LP4703	0,43 *****	5,4	-8,52 *****	47,4
LP923	-0,93 *****	1,3	4,17 ***	65,6

Representan * p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001; **** p<0,0001; ***** p<0,0001; ns: no significativo.

Dado que las interacciones Genotipo x Ambiente y ACE x Ambiente fueron altamente significativas en todos los casos, se procedió al análisis dialélico en cada ambiente por separado. El mismo permitió detectar diferencias altamente significativas (p <0,01) para los efectos de ACG y ACE para ambas variables, con la excepción de ACG para RGP en el ambiente S-AD que presentó diferencias significativas (p <0,05) (Tabla 11), indicando que tanto los efectos aditivos y no aditivos intervinieron en la expresión de ambos caracteres.

La importancia relativa de la ACG y ACE en la determinación del desempeño de la progenie para los atributos estudiados se estima con el valor de la ACG_{CR} (Contribución

relativa de los efectos de ACG). Para RGP la ACG_{CR} varió entre 4 y 16%, indicando que la varianza genotípica tuvo una proporción muy pequeña atribuible a la varianza aditiva. La menor contribución relativa de los efectos aditivos en el rendimiento por planta se hace más notoria en los ambientes sin riego. Lo mismo se refleja en los valores de heredabilidad en sentido estricto y amplio (Tabla 11). Esto concuerda con Derera *et al.* (2008) quienes destacaron la mayor contribución de los efectos de dominancia bajo condiciones de sequía. Sin embargo, otros autores encontraron mayor importancia de los efectos aditivos para este carácter bajo ambientes con mayores restricciones hídricas (Munaro, 2013; de Souza 2009; Bänziger *et al.* 2012b). Para ASI los valores de la ACG_{CR} fueron mayores y estaban comprendidos entre 36 y 65%. La contribución de los efectos aditivos tiende a ser más importante en el ambiente S-AD, de mayor estrés ($ACG_{CR}=0,65$), como así también la heredabilidad ($h^2=0,52$). Varios autores (Bolaños y Edmeades, 1996; Munaro, 2013) afirmaron también que los efectos aditivos tienen mayor contribución para ASI en ambientes restrictivos y hallaron valores similares de heredabilidad ($h^2= 0,50$) (Bolaños y Edmeades, 1996).

Tabla 11: Cuadrados Medios obtenidos del Análisis dialéctico para Aptitud Combinatoria General (ACG), Aptitud Combinatoria Específica (ACE) y el Error ; Contribución relativa de los efectos de la Aptitud combinatoria general (ACG_{CR}), Heredabilidad en sentido amplio (H) y Heredabilidad en sentido estricto (h^2) para las variables Rendimiento en grano por planta (RGP) e Intervalo antesisilking (ASI) en cada una de las condiciones ambientales (S-AD: Secano-Alta densidad, S-BD: Secano-Baja densidad, R-AD: Riego-Alta densidad y R-BD: Riego-Baja densidad); (GL: grados de libertad).

RGP					
	GL	S-AD	S-BD	R-BD	R-AD
ACG	3	291,8*	328,5**	800,4*****	423,4***
ACE	6	978,3*****	2309,6*****	2268,6****	693,3*****
Error	18	66,6	53,2	81,8	39,7
ACG_{CR}		0,08	0,04	0,10	0,16
H		0,83	0,94	0,91	0,87
h^2		0,06	0,04	0,09	0,14

ASI					
	GL	S-AD	S-BD	R-BD	R-AD
ACG	3	10,3*****	32,2*****	3,0****	2,1***
ACE	6	2,2**	0,1****	0,7**	1,3***
Error	18	0,40	0,10	0,12	0,18
ACG_{CR}		0,65	0,57	0,61	0,36
H		0,79	0,86	0,81	0,76
h^2		0,52	0,49	0,50	0,28

Representan * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; **** $p < 0,0001$; ***** $p < 0,0001$; ns: no significativo.

La línea LP2542 obtuvo los valores más altos de ACG para RGP en todos los ambientes, excepto en S-AD dónde se destacó LP923. Asimismo, esta última línea exhibió el mayor valor absoluto y con signo negativo de ACG para ASI, excepto en R-BD en el que el máximo lo obtuvo LP29.

El híbrido LP29xLP923 presentó la ACE más alta para RGP en todas las condiciones, excepto en S-BD donde el máximo valor correspondió a LP923xLP2542. Para la variable ASI, LP29xLP4703 obtuvo la mayor ACE en todas las condiciones, excepto en el ambiente más limitante (S-AD) donde se destacó LP2542xLP4703 (Tabla 12).

Tabla 12: Valores de Aptitud Combinatoria General (ACG) y Aptitud Combinatoria Específica (ACE) de los genotipos para las variables Rendimiento en grano por planta (RGP) e Intervalo antesis-*silking* (ASI) para cuatro condiciones ambientales (S-AD: Secano-Alta densidad, S-BD: Secano-Baja densidad, R-AD: Riego-Alta densidad y R-BD: Riego-Baja densidad).

Genotipos	ACG RGP				ACG ASI			
	S- AD	S-BD	R-BD	R-AD	S- AD	S-BD	R-BD	R-AD
LP29	-5,54 ns	-5,74 ns	-1,09 ns	-2,14 ns	0,09 ns	-0,55 *	-0,65 *	-0,35 ns
LP2542	-0,69 ns	8,11 ns	13,03 *	11,47 *	1,42 **	0,75 **	0,59 *	0,69 *
LP4703	-3,79 ns	-6,79 ns	-14,85 *	-8,66 *	0,25 ns	0,59 *	0,62 *	0,27 ns
LP923	10,02 **	4,41 ns	2,91 ns	-0,67 ns	-1,75 **	-0,78 **	-0,56 *	-0,61 *
Genotipos	ACE RGP				ACE ASI			
	S- AD	S-BD	R-BD	R-AD	S- AD	S-BD	R-BD	R-AD
LP2542xLP29	10,00 ns	24,49 **	31,10 **	-3,98 ns	-0,81 ns	0,81 *	0,56 ns	1,71 **
LP2542xLP4703	26,30 *	30,22 **	28,90 **	15,15 *	-1,84 *	-0,42 ***	-0,47 ns	-0,95 *
LP29xLP4703	21,02 **	31,15 **	23,30 *	23,08 **	-1,62 ns	-1,79 ns	-1,42 **	-1,10 *
LP29xLP923	27,29 **	40,41 ***	52,40 ***	30,54 **	-0,54 *	-0,28 ns	0,67 ns	0,56 ns
LP923xLP2542	18,72 *	45,10 ***	25,55 *	16,46 *	0,21 ns	0,47 ns	-0,34 ns	0,58 ns
LP923xLP4703	12,82 ns	1,84 ns	11,89 ns	8,25 ns	0,50 ns	0,35 ns	-0,23 ns	0,12 ns

Representan * p<0,1; ** p<0,05; *** p<0,01; **** p<0,001; ***** p<0,0001, ns: no significativo.

3.4. Heredabilidad

Las estimaciones de la heredabilidad fueron clasificadas como: altas (mayor a 60%), moderadas (entre 30 y 60%) y bajas (menor a 30%) (Robinson *et al.*, 1949). Para RGP, la h^2 fue baja en las cuatro condiciones ambientales (Tabla 11), en concordancia con Rosielle y Hamblin (1981) quienes propusieron que la heredabilidad de dicho carácter disminuye en situaciones de restricción de crecimiento de las plantas. Mientras que el carácter ASI presenta una h^2 moderada a alta frente a estrés abiótico ($h^2=0,52$), de acuerdo con Bänziger *et al.* (2012b).

Blum (1988) expuso que en ambientes restrictivos dónde la heredabilidad del rendimiento es baja, pueden ser útiles los rasgos secundarios en el mejoramiento de plantas. Mientras que varios autores (Araus *et al.*, 2002; 2008; Lafitte *et al.*, 2003) aseveraron que el ASI es un rasgo secundario apto para ser usado en el mejoramiento ya que está correlacionado negativamente con el RGP, es menos afectado por los cambios ambientales, presenta mayor heredabilidad que el rendimiento y es un rasgo fácilmente medible a campo. Estas afirmaciones son apoyadas por los resultados hallados en el presente trabajo.

4. CONCLUSIÓN

En el presente trabajo se encontraron diferencias significativas entre genotipos para RGP, ASI, BA, NGP, NGm^{-2} , RGm^{-2} e IC. Esto indica la existencia de variabilidad genotípica para los componentes numéricos del rendimiento y para el intervalo antesis-*silking* en los genotipos bajo estudio, por lo que no se rechaza la primera parte de la hipótesis planteada.

Se destacó la línea LP923 por presentar menores valores de asincronía floral en tres de las cuatro condiciones ambientales exploradas (S-AD, S-BD, R-AD). La misma obtuvo menor reducción del RGP y menor incremento del ASI al pasar de una condición menos restrictiva a otra de mayor restricción. Asimismo, dicha línea obtuvo los mayores valores de ACG para ASI en todos los ambientes.

Entre los híbridos promisorios para ambientes restrictivos se destacan el LP29xLP923, con menor ASI y mayor RGP, RGm^{-2} e IC y el LP923xLP4703 con mayor NGP y NGm^{-2} y menor reducción del rendimiento al pasar del ambiente menos restrictivo al de mayor restricción.

Se hallaron correlaciones negativas significativas entre los caracteres determinantes del rendimiento y el ASI, y positivas significativas entre los demás caracteres entre sí.

Se registraron altos valores de heterosis para las condiciones ambientales más estresantes, indicando no sólo su dependencia con el ambiente sino su contribución a la tolerancia a estreses abióticos.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo demuestran que el control genético para RGP y para ASI difiere de acuerdo al ambiente y define la estrategia de mejoramiento y desarrollo de cultivares a emplear. Para ambos rasgos tanto los efectos aditivos como no aditivos fueron importantes en la expresión del carácter, por lo que la selección debería realizarse a nivel de mejores combinaciones híbridas. Asimismo, dada la presencia de interacción con el ambiente, se debería pensar en estrategias de mejoramiento específicas para cada ambiente en particular. Cabe destacar que para ASI la importancia relativa de los efectos aditivos fue mayor al aumentar la intensidad del estrés ambiental, lo que sugiere la necesidad de seleccionar ambos parentales con bajos valores de ASI para obtener híbridos con buen comportamiento para dicho rasgo en estas condiciones ambientales. Las estimaciones de heredabilidad en sentido estricto arrojaron resultados bajos para RGP y moderados a altos para ASI a medida que el ambiente era más restrictivo. Lo cual confirma el empleo del ASI como carácter secundario promisorio para el mejoramiento genético ante estrés.

Con el fin de confirmar lo concluido, se sugiere repetir el experimento otros años y bajo condiciones de estrés hídrico controlado a campo.

5. RESUMEN

Los rendimientos del cultivo de maíz en planteos de secano en la región pampeana argentina muestran variabilidad entre años debido a la ocurrencia de deficiencias hídricas. Las pérdidas en la productividad varían según la intensidad, duración y al momento del déficit. El período crítico para la definición del rendimiento en maíz abarca aproximadamente un mes centrado en la floración femenina, por ello es importante el estado hídrico en dicha etapa. En floración, la menor disponibilidad de agua puede generar un incremento en el intervalo entre la antesis y el silking (ASI), dando lugar a una polinización incompleta con la consiguiente disminución del número de granos (NG). En el cultivo de maíz existe una densidad óptima que permite alcanzar el máximo rendimiento en grano, la cual varía según la oferta de recursos, disminuyendo a medida que las condiciones de crecimiento se tornan más limitantes. Dichas modificaciones en el número de plantas producen variaciones en el número de espigas por planta, el NG por espiga y peso de granos (PG). Los objetivos de este trabajo fueron analizar la variación genotípica y los efectos genéticos involucrados en la expresión del rendimiento y la asincronía floral, en condiciones ambientales contrastantes, generadas por disponibilidad hídrica y densidad poblacional. El ensayo se llevó a cabo en el INTA Pergamino durante la campaña el 2015/16, en un experimento dialélico completo que constó de 4 líneas endocriadas (LP29, LP2542, LP4703 y LP923) y sus seis híbridos derivados (sin incluir cruzamientos recíprocos): LP2542×LP29, LP2542×LP4703, LP29×LP4703, LP29×LP923, LP923×LP2542 y LP923×LP4703, en cuatro condiciones ambientales (S-AD, S-BD, R-AD y R-BD) generadas por la combinación de dos regímenes hídricos (R: riego; S: secano) y dos densidades de siembra (densidad baja: DB: 7 pl m⁻²; densidad alta: DA: 12 pl m⁻²). Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,01$) entre genotipos y entre densidades para rendimiento en grano por planta (RGP), ASI, biomasa aérea (BA), número de granos por planta (NGP), número de granos por metro cuadrado (NGm⁻²), rendimiento en grano por metro cuadrado (RGm⁻²) e índice de cosecha (IC) y significativas ($p < 0,05$) entre ofertas hídricas. La línea LP923 presentó los menores valores de asincronía floral en S-AD, S-BD, R-AD. Además obtuvo menor reducción del RGP (46,25 g planta⁻¹, 48,70%) y menor incremento del ASI (1,09 días) al pasar de una condición menos restrictiva a otra de mayor restricción. Asimismo, alcanzó los mayores valores de ACG (aptitud combinatoria general) para ASI en todos los ambientes. Se destacaron los híbridos LP29×LP923 y LP923×LP4703. El primero mostró menor ASI y mayor RGP, RGm⁻² e IC y menor incremento del ASI al pasar de condiciones menos a más restrictivas (1,86 días). El LP923×LP4703 se destacó por mayor NGP y NGm⁻² y menor reducción del rendimiento

(56,86 g planta⁻¹, 42,43 %) al pasar del ambiente menos restrictivo al de mayor restricción. Se hallaron correlaciones negativas altamente significativas ($p < 0,0001$) entre los caracteres determinantes del rendimiento y el ASI (r entre -0,34 y -0,50), y positivas altamente significativas ($p < 0,0001$) entre los demás caracteres entre sí (r entre 0,39 y 0,96). Los mayores valores de heterosis para todos los atributos analizados fueron registrados frente a condiciones ambientales más restrictivas (S-AD), indicando su dependencia con el ambiente y su contribución a la tolerancia a estreses abióticos. Los resultados obtenidos en el presente trabajo demuestran que para RGP y ASI, los efectos aditivos y no aditivos fueron importantes en la expresión del carácter, por lo que la selección debería realizarse a nivel de mejores combinaciones híbridas. Para ASI la importancia relativa de los efectos aditivos fue mayor al aumentar la intensidad del estrés ambiental, lo que sugiere la necesidad de seleccionar ambos parentales con bajos valores de ASI para obtener híbridos con buen comportamiento.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Abrecht, D.G. y Carberry, P.S. 1993. The influence of water deficit prior to tassel initiation on maize growth, development and yield. *Field Crops Research* 31: 55-69.
- Andrade, F.H., Uhart, S.A. y Frugone, M. 1993. Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize: shade versus plant density effects. *Crop Science* 33:482-485.
- Andrade, F.H.; Cirilo, A.G.; Uhart, S.A. y Otegui, M.E. 1996. *Ecofisiología del Cultivo de Maíz*. Editorial La Barrosa-EEA Balcarce, CERBAS, INTA-FCA, UNMP (Eds.). Dekalb Press. Buenos Aires. 292 p.
- Andrade, F.H.; Aguirrezábal, L.A.N. y Rizzalli, R.H. 2000. Crecimiento y rendimiento comparados. *En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja*. Andrade, F.H.; Sadras V.O. (Eds). Buenos Aires. Editorial Médica Panamericana. p. 61-96.
- Andrade, F.H. y Sadras, V.O. 2002. Efectos de la sequía sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos. *En: Bases para el manejo del maíz, girasol y la soja*. Andrade F.H.; Sadras V.O. (Eds). Balcarce, Argentina. EEA INTA Balcarce-Facultad de Ciencias Agrarias. p. 175-210.
- Araus, J. L.; Slafer, G. A.; Reynolds, M. P. y Royo, C. 2002. Plant breeding and water stress in C3 cereals: what to breed for? *Annals of Botany* 89: 925-940.
- Araus, J. L.; Slafer, G. A.; Royo, C. y Serret, M. D. 2008. Breeding for yield potential and stress adaptation in cereals. *Critical Reviews in Plant Sciences* 27: 1-36
- Araus, J.L.; Serret, M.D. y Edmeades, G.O. 2012. Phenotyping maize for adaptation to drought. *Frontiers in Physiology* 3: 1-20.
- Baker, R. J. 1978. Issues in diallel analysis. *Crop Science*. 18: 533-536.
- Bänziger, M.; Edmeades, G.O.; Beck, D. y M. Bellon. 2012a. Estrategias de mejoramiento. *En: Mejoramiento para aumentar la tolerancia a sequía y a deficiencia de nitrógeno en el maíz: De la teoría a la práctica*. México Distrito Federal, México, CIMMYT. p: 41-50.
- Bänziger, M.; Edmeades, G.O.; Beck, D. y M. Bellon. 2012b. Características secundarias. *En: Mejoramiento para aumentar la tolerancia a sequía y a deficiencia de nitrógeno en el maíz: De la teoría a la práctica*. México Distrito Federal, México, CIMMYT. p: 33-40.
- Betrán, F.J.; Beck, D.; Banziger, M. y Edmeades, G.O. 2003. Genetic analysis of inbred and hybrid grain yield under stress and nonstress environments in tropical maize. *Crop Science*. 43:807-817.
- Biradar, C. M.; Thenkabail, P. S.; Noojipady, P.; Li, Y.; Dheeravath, V.; Turrall, H.; Velpuri, M.; Gumma, M. K.; Gangalakunta, O. R. P.; Cai, X. L.; Xiao, X. y Schull, M. A. 2009. A

globalmap of rainfed cropland areas (GMRCA) at the end of the last millennium using remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 11: 114–129.

- Bolaños, J. y Edmeades, G.O. 1996. The importance of the anthesis silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. *Field Crops Research* 48: 65-80.
- Borrás, L.; Slafer, G. A. y Otegui, M. E. 2004. Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. *Field Crops Research*, 86: 131-146.
- Blum, A. 1988. *Plant breeding for stress environments*. CRC Press: Boca Raton, Florida, Estados Unidos. 222 p.
- Campos, H.; Cooper, M. ; Edmeades, G.O; Löffler, C. ; Schussler, J.R e Ibañez, M. 2006. Changes in drought tolerance in maize associated with fifty years of breeding for yield in the U.S. corn belt. *Maydica* 51: 369-381.
- Chapman, S.C. y Edmeades, G.O. 1999. Selection improves tolerance to mid/late season drought in tropical maize populations. II Direct and correlated responses among secondary traits. *Crop Science* 39: 1315-1324.
- Cirilo, A.G. y Andrade, F.H. 1994a. Sowing date and maize productivity. I. Crop growth and dry matter partitioning. *Crop Science* 34: 1039-1043.
- Cirilo, A. G. y Andrade, F. H. 1994b. Sowing date and maize productivity: II: Kernel number determination. *Crop Science* 34: 1044-1046.
- Cirilo, A.G. 2000. Manejo de la densidad y distancia entre surcos en maíz. *Revista de Tecnología Agropecuaria, INTA Pergamino* 14: 19-23.
- Cirilo, A.G.; Andrade, F.H.; Otegui, M.E.; Maddonni, G.A.; Vega, C.R.C. y Valentinuz, O. 2012. Ecofisiología del cultivo de maíz. *En Bases para el manejo del cultivo de maíz*. Pergamino, Argentina, Ediciones INTA. p. 26-56.
- Cox, W.J. 1996. Whole-plant physiological and yield responses of maize to plant density. *Agronomy Journal* 88: 489-496.
- Dardanelli, J.; Collino, D.; Otegui, M.E. y Sadras, V.O. 2003. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de grano. *En: Producción de granos: Bases funcionales para su manejo*. Satorre, E.H.; Benech-Arnold, R.; Slafer, G.A.; de la Fuente, E.B.; Miralles, D.J.; Otegui, M.E. y Savin, R. (Eds.). Editorial Facultad Agronomía Universidad de Buenos Aires. p. 375-440.
- Derera, J.; Tongoona, P.; Vivek, B.S.; Laing, M.D. 2008. Gene action controlling grain yield and secondary traits in southern African maize hybrids under drought and non-drought environments. *Euphytica*, 162: 411-422.

- Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; González, L.; Tablada, M. y Robledo, C.W. 2013. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Doebley, J.A.; Stec, A. y Hubbard, L. 1997. The evolution of apical dominance in maize. *Nature* 386: 485-488.
- Echarte, L. y Tollenaar, M. 2006. Kernel set in maize hybrids and their inbred lines exposed to stress. *Crop Science*. 46:870-878.
- Edmeades, G.O.; Bänziger, M. y Ribaut, J.M. 2000a. Maize improvement for drought-limited environments. *En: Physiological Basis for Maize Improvement*. Otegui, M.E. y Slafer, G.A. (Eds.). Nueva York. The Howarth Press. p. 75–111.
- Edmeades, G.O.; Bolaños, J.; Elings, A.; Ribaut, J.M.; Bänziger, M. y Westgate, M.E. 2000b. The role and regulation of the anthesis-silking interval in maize. *En: Physiology and Modeling Kernel Set in Maize*, Westgate, M.E. y Boote, K.J. (Eds.). Madison, Wisconsin. Crop Science Society of America and American Society of Agronomy Special Publication Number 29. p. 43–73.
- Eyhéabide, G.H. 2012. Mejoramiento genético en maíz. *En: Bases para el manejo del cultivo de maíz*. Pergamino, Argentina, Ediciones INTA. p. 57-78.
- FAOSTAT. 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations – Statistics Division (en línea). Consultado en marzo de 2017. Disponible en: <http://www.faostat3.fao.org/>
- Fischer, R.A. 2008. The importance of grain or kernel number in wheat: a reply to Sinclair and Jamieson. *Field Crops Research*. 105: 15-21.
- Griffing, B. 1956. Concept of General and Specific Combining Ability in Relation to Diallel Crossing Systems. *Australian Journal of Biological Sciences* 9: 463-493.
- Hall, A.J.; Lemcoff, J.H. y 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.
- Hall, A.J.; Vilella, F.; Trapani, N. y Chimenti, C.A. 1982. The effects of water stress and genotype on the dynamics of pollen-shedding and silking in maize. *Field Crops Research* 5: 349-363.
- Hall, A.J.; Rebella, C.M.; Ghera, C.M. y Culot, J.P. 1992. Field-crop systems of the Pampas. *En: Field Crop Ecosystems*. Editor C. J. Pearson. p. 413- 449.
- Hallauer, A.R.; Carena, M.J. y Miranda Filho, J.B. 2010. Quantitative Genetics in Maize Breeding. 3 ed. *Handbook of Plant Breeding Volumen 6*. Springer-Verlag, New York. 663 p.

- Lafitte, R. H.; Blum, A. y Atlin, G. 2003. Breeding rice for drought-prone environments. *En: Breeding Rice for Drought-Prone Environments* (Eds.) Fisher, K.S.; Lafitte, R.H.; Fukai, S.; Atlin, G. y Hardy, B. International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Filipinas. p. 14-22.
- Liu, W. y Tollenaar M. 2009. Response of yield heterosis to increasing plant density in maize. *Crop Science* .49:1807-1816.
- MA. 2017. Ministerio de Agroindustria. SIIA (Sistema Integrado de Información Agropecuaria) (en línea). Consultado en marzo de 2017. Disponible en: <http://www.sii.gov.ar/>
- Matzinger, D.F.; Sprague, G.F. y Cockerham, C.C. 1959. Diallel cross of maize in experiments repeated over locations and years. *Agronomy Journal* 51: 346 -350.
- Monneveux, P. y Ribaut, J.M. 2006. Secondary traits for drought tolerance improvement in cereals. *En: Drought Adaptation in Cereals*. Ribaut, J.M. (Ed.). Binghamton, New York. The Haworth Press Inc. p. 97–143.
- Monneveux, P.; Sanchez, C.; Beck, D. y Edmeades, G. O. 2006. Drought tolerance improvement in tropical maize source populations: evidence of progress. *Crop Science*. 46: 180–191.
- Muchow, R.C.; Sinclair, T.R. y Benett, J.M. 1990. Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. *Agronomy Journal* 82: 338-343.
- Muller, C., Valentinuz, O. y Eyhérabide, G.H. 2010. Líneas de maíz difieren en caracteres fisiológicos asociados con el crecimiento. *En: Actas del IX Congreso Nacional de Maíz. Simposio de Sorgo*, Rosario, Argentina.
- Munaro, E.M. 2013. Análisis genético de la respuesta de los caracteres ecofisiológicos determinantes del rendimiento en grano a la disponibilidad de nitrógeno en maíz (*Zea mays* L.). Tesis Doctor en Ciencias Agropecuarias Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. 181 p.
- Otegui, M.E.; Ruiz, R. 1993. Performance of six maize hybrids sown at three population densities in Argentina. Test of Agrochemicals and Cultivar N° 14. *Annals of Applied Biology* 122: 172-173.
- Otegui, M.E.; Andrade, F.H. y Suero, E.E. 1995. Growth, water use, and kernel abortion of maize subjected to drought at silking. *Field Crops Research* 40: 87-94.
- Otegui, M.E. 1997. Kernel set and flower synchrony within the ear of maize: II Plant population effects. *Crop Science* 37:488-455.
- Passioura, J.B. 1977. Grain yield, harvest index and water use of wheat. *Journal of the*

- Australian Institute of Agricultural Science 43: 117-120.
- Ritchie, S.W.; Hanway, J.J. 1982. How a plant crop develops. Special Report No. 48, Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service. Ames, Iowa. p. 48.
- Robinson, H. F.; Comstock, R.E. y Harey, P.H. 1949. Estimates of heritability and degree of dominance in corn. *Agronomy Journal* 41:353-359.
- Rodríguez, F.; Alvarado, G.; Pacheco, A.; Crossa, J. y Burgueño, J. 2015. AGD-R (Analysis of Genetic Designs with R for Windows) Version 4.0. International Maize and Wheat Improvement Center. URL <http://hdl.handle.net/11529/10202>
- Rojas, B.A. y Sprague, G.F. 1952. A comparison of variance components in corn yield trials III. General and specific combining ability and their interactions with location and years. *Agronomy Journal* 44: 462-466.
- Rood, S.B. y Major, D.J. 1980. Diallel analysis of flowering-time in corn (*zea mays*) using a corn heat unit transformation. *Canadian Journal of Genetics and Cytology* 22: 633-640.
- Rosielle, A.A y Hamblin, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science* 21: 943-946.
- Ruiz, M.B. y Eyhéabide, G.H. 2015. Screening of maize inbred line and hybrids under managed drought stress. *En: Actas de Latin American Conference on Plant Phenotyping and Phenomics for Plant Breeding*, Talca, Chile.
- Souza, L.V.; Miranda, G.V.; Galvão, J.C.C.; Guimarães, L.J.M. y Santos, I.C. 2009. Combining ability of maize grain yield under different levels of environmental stress. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 44: 1297-1303.
- Totis de Zeljkovich, L.E. y Rebella, C.M. 1980. Necesidades de agua de un cultivo de maíz en le región de Pergamino. *En: Actas del II Congreso Nacional de Maíz*, Pergamino, Argentina.
- USDA, 2017. United States Department of Agriculture (en línea). Consultado marzo de 2017. Disponible en <http://www.usda.gov>.
- Valentinuz, O.; Eyhéabide, G.H.; Gregori, L. y Arguissain G. 2012. Fotosíntesis en híbridos de maíz bajo estrés hídrico en floración. *En: Actas de la XXIX Reunión Argentina de Fisiología Vegetal*, Mar del Plata, Argentina.
- Vega, C.R. y Andrade, F.H. 2000. Densidad de plantas y espaciamento entre hileras. *En: Bases para el manejo del maíz, girasol y la soja*. Andrade F.H.; Sadras V.O. (Eds). EEA INTA Balcarce-Facultad de Ciencias Agrarias. Balcarce, Argentina. p. 97-133.
- Vega, C.R.C.; Andrade, F.H. y Sadras, V.O. 2001. Reproductive partitioning and seed set

efficiency in soybean, sunflower and maize. *Field Crops Research* 72: 163-175.

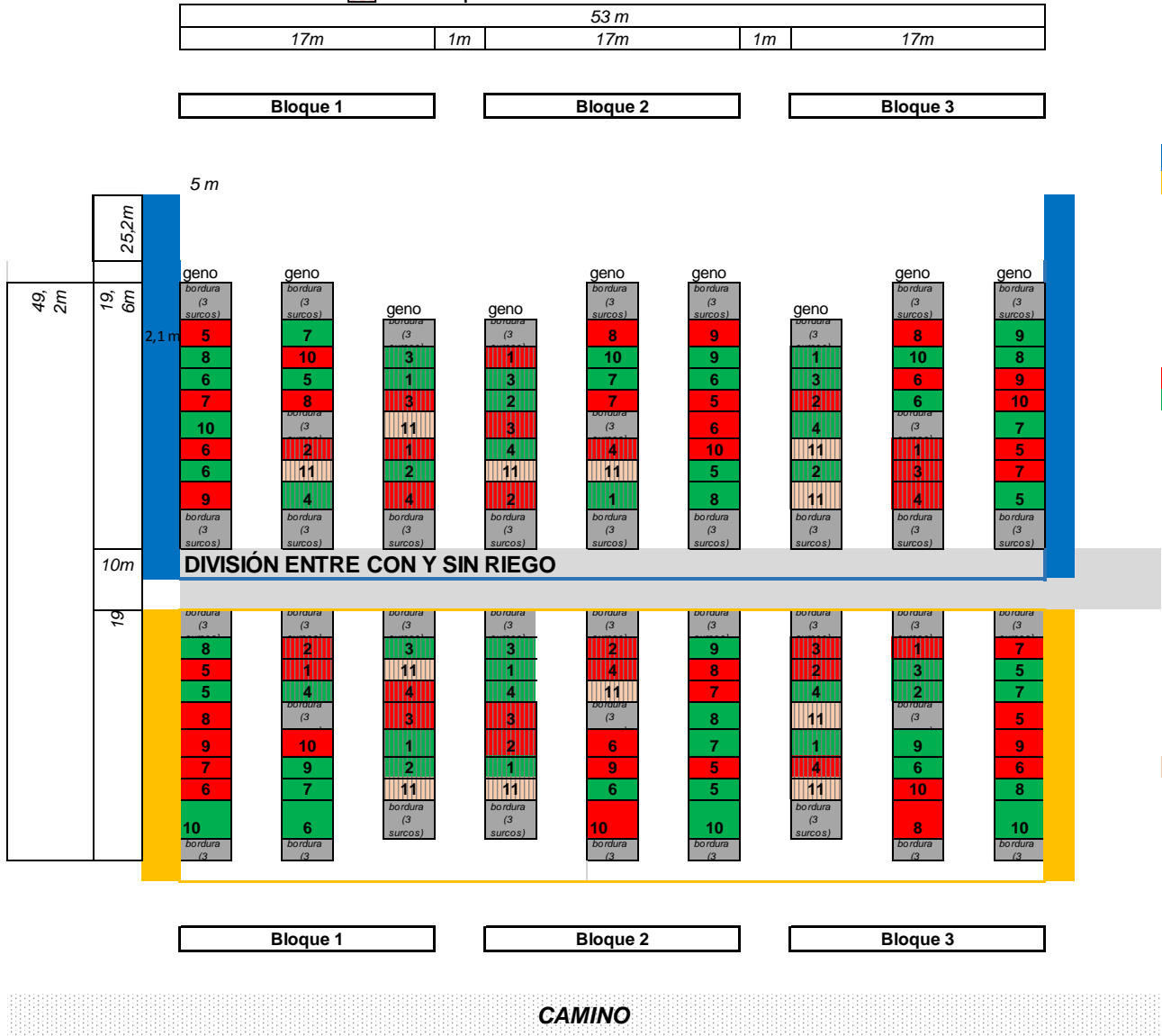
Welcker, C. ;Thé, C.; Andréau, B.; De Leon, C.; Parentoni, S. N.; Bernal, J.; Félicité, J.; Zonkeng, C.; Salazar, F.; Narro, L.; Charcosset, A. y Horst, W. J. 2005. Heterosis and combining ability for maize adaptation to tropical acid soils. *Crop Science* 45: 2405-2413.

Westgate, M.E.; Otegui, M.E. y Andrade, F.H. 2004. Physiology of the corn plant. *En: Smith, W.C.; Betrán, F.J. y Runge, E. (Eds.), Corn: Origin, History, Technology and Production. John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey. p. 235–271.*

7. ANEXOS

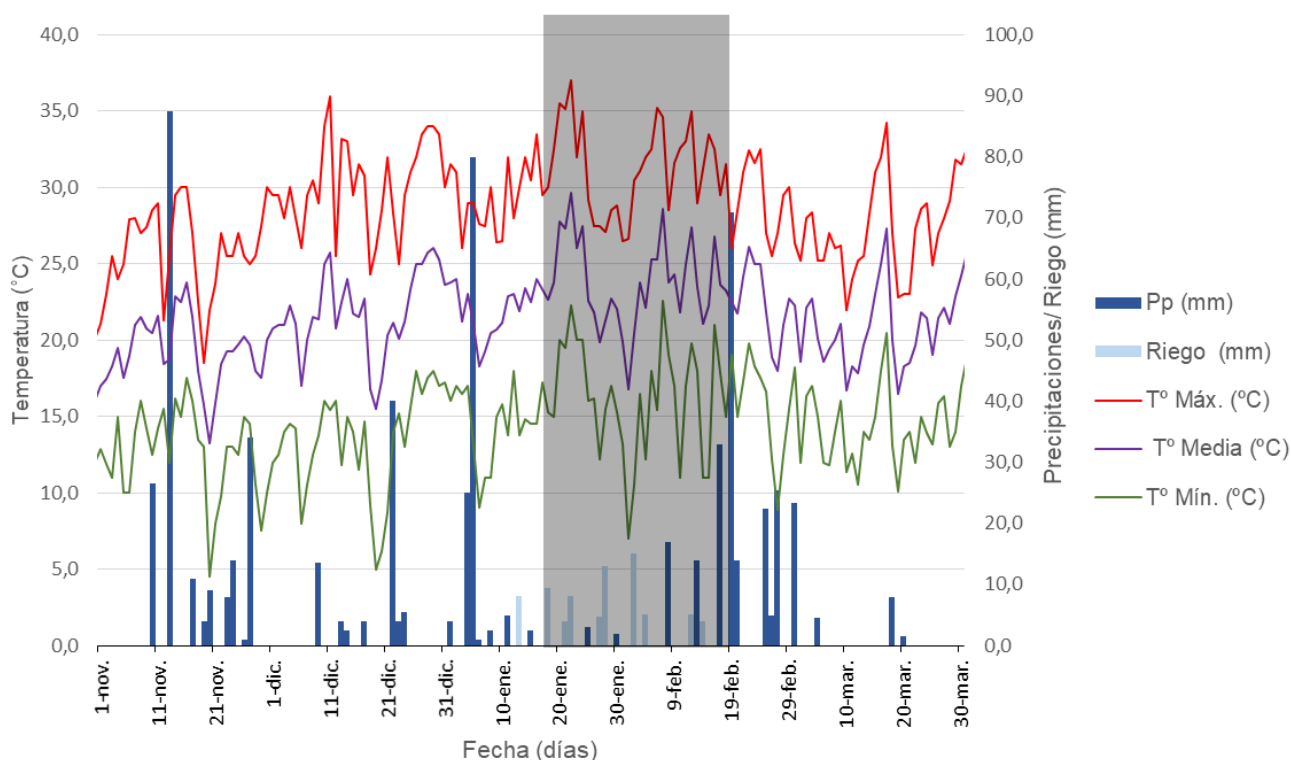
7.1. Anexo 1: Plano del ensayo.

Referencias: Parcela principal ■ Riego, ■ Secano. ■ Alta densidad, ■ Baja densidad.
 Líneas; Híbridos. Genotipos: 1: LP29; 2: LP2542; 3: LP4703; 4: LP923; 5: LP2542xLP29; 6: LP2542xLP4703; 7: LP29xLP4703; 8: LP29xLP923; 9: LP923xLP2542; 10: LP923 xLP4703. Genotipo no utilizado.



7.2. Anexo 2 a. Evolución de los valores meteorológicos diarios.

Evolución de los valores diarios de temperatura máxima, media y mínima expresados en grados centígrados (°C) (T° máx., T° media y T° mín., respectivamente), Precipitaciones (pp en mm) y Lámina de riego aplicada (Riego en mm), para el período Noviembre 2015-Marzo 2016. La franja gris indica el período crítico promedio de las cuatro condiciones ambientales (fecha promedio de emisión de estigmas ± 15 días: 01 de febrero ± 15 días).



Anexo 2 b. Lámina de riego aplicada.

Fecha de aplicación y lámina de riego aplicada en mm.

Fecha	Riego (mm)
13-ene	8,00
18-ene	9,50
21-ene	4,00
22-ene	8,00
27-ene	4,75
31-ene	13,00
2-feb	15,00
4-feb	5,00
12-feb	5,00
14-feb	4,00

7.3. Anexo 3: Medias por genotipo de las variables estudiadas

Promedio \pm Desvío Estándar, por genotipo, para cada variable (ASI: Intervalo anthesis-*silking*, BA: Biomasa aérea; NGP: Número de granos por planta; RGP: Rendimiento en grano por planta; NGm⁻²: Número de granos por metro cuadrado; RGM⁻²: Rendimiento en grano por metro cuadrado; IC: Índice de cosecha y PMG: Peso de mil granos) bajo cuatro condiciones ambientales (Secano DA: Densidad Alta, Secano DB: Densidad Baja; Riego DA, Riego DB). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), según el método de LSD Fisher.

Genotipos	ASI (días)							
	Secano				Riego			
	AD		BD		AD		BD	
LP29	7,07 \pm 1,74	bc	2,86 \pm 1,43	c	1,64 \pm 1,18	ef	0,67 \pm 1,08	fg
LP2542	9,46 \pm 2,17	a	4,38 \pm 0,44	b	3,64 \pm 0,59	bc	3,19 \pm 0,32	ab
LP4703	7,37 \pm 0,95	b	5,43 \pm 0,25	a	4,44 \pm 0,92	ab	4,19 \pm 1,03	a
LP923	1,81 \pm 0,32	g	1,48 \pm 0,99	d	1,08 \pm 0,44	f	0,71 \pm 0,15	efg
LP2542xLP29	6,09 \pm 0,89	bcd	4,33 \pm 0,70	b	4,97 \pm 0,67	a	2,38 \pm 0,72	bcd
LP2542xLP4703	5,22 \pm 0,35	cde	4,24 \pm 0,73	b	2,94 \pm 0,63	cd	2,62 \pm 0,92	bc
LP29xLP4703	4,11 \pm 1,17	ef	1,57 \pm 0,43	d	1,75 \pm 0,93	def	0,43 \pm 0,38	g
LP29xLP923	3,19 \pm 0,10	fg	1,71 \pm 0,93	d	2,53 \pm 1,69	cde	1,33 \pm 0,68	efg
LP923xLP2542	5,27 \pm 0,88	cde	3,76 \pm 0,36	bc	3,58 \pm 1,08	bc	1,57 \pm 0,87	def
LP923xLP4703	4,39 \pm 0,81	def	3,47 \pm 0,41	c	2,72 \pm 0,38	cde	1,71 \pm 0,52	cde

Genotipos	BA (g planta ⁻¹)							
	Secano				Riego			
	AD		BD		AD		BD	
LP29	103,88 \pm 34,17	d	165,04 \pm 15,55	cde	149,56 \pm 7,58	cd	219,61 \pm 19,05	ef
LP2542	112,23 \pm 6,78	cd	185,84 \pm 25,52	cd	216,39 \pm 9,79	ab	270,96 \pm 59,42	de
LP4703	77,31 \pm 26,84	d	143,36 \pm 19,11	e	135,14 \pm 29,60	d	197,78 \pm 20,02	f
LP923	116,23 \pm 12,42	bcd	150,80 \pm 24,69	de	148,29 \pm 7,58	cd	202,37 \pm 14,61	f
LP2542xLP29	159,55 \pm 28,20	ab	252,93 \pm 29,02	b	200,44 \pm 17,30	ab	342,45 \pm 60,68	ab
LP2542xLP4703	176,19 \pm 21,81	a	264,27 \pm 28,14	ab	221,61 \pm 33,67	a	328,41 \pm 33,19	abc
LP29xLP4703	155,88 \pm 28,82	abc	250,32 \pm 6,34	b	204,58 \pm 39,71	ab	295,33 \pm 38,00	bcd
LP29xLP923	170,26 \pm 26,47	a	258,63 \pm 35,51	b	229,57 \pm 12,66	a	353,72 \pm 34,88	a
LP923xLP2542	179,87 \pm 30,66	a	304,60 \pm 42,12	a	221,21 \pm 25,78	a	325,31 \pm 37,92	abc
LP923xLP4703	169,41 \pm 36,86	a	197,12 \pm 13,43	c	183,12 \pm 11,68	bc	279,56 \pm 6,05	cd

Genotipos	NGP (granos planta ⁻¹)							
	Secano				Riego			
	AD		BD		AD		BD	
LP29	62,50 \pm 49,75	e	124,04 \pm 32,44	d	216,47 \pm 11,26	c	288,27 \pm 54,21	e
LP2542	125,36 \pm 34,47	de	241,30 \pm 45,30	c	413,06 \pm 48,59	a	438,67 \pm 158,04	cd
LP4703	125,94 \pm 89,50	de	291,20 \pm 60,87	c	246,35 \pm 72,24	c	374,79 \pm 40,99	de
LP923	199,40 \pm 16,91	cd	267,94 \pm 42,45	c	250,76 \pm 27,10	c	403,88 \pm 12,45	d
LP2542xLP29	220,67 \pm 40,96	bcd	430,54 \pm 59,42	b	339,56 \pm 12,51	b	552,89 \pm 71,99	ab
LP2542xLP4703	323,04 \pm 29,52	ab	473,52 \pm 55,53	ab	388,07 \pm 50,65	ab	549,48 \pm 29,10	ab
LP29xLP4703	258,41 \pm 94,58	abc	419,07 \pm 23,81	b	375,61 \pm 62,67	ab	467,21 \pm 9,08	bcd
LP29xLP923	332,68 \pm 46,82	a	454,85 \pm 92,02	b	399,61 \pm 33,97	ab	557,57 \pm 40,33	ab
LP923xLP2542	342,30 \pm 83,26	a	547,17 \pm 49,86	a	413,56 \pm 17,25	a	573,31 \pm 40,57	a
LP923xLP4703	360,62 \pm 54,85	a	445,00 \pm 42,20	b	389,14 \pm 26,51	ab	506,93 \pm 24,08	abc

RGp (g planta ⁻¹)								
Genotipos	Secano				Riego			
	AD		BD		AD		BD	
LP29	17,86 ± 15,22	e	36,12 ± 12,22	e	57,82 ± 3,20	d	78,48 ± 19,20	f
LP2542	29,21 ± 8,53	de	61,94 ± 12,91	d	96,06 ± 6,47	abc	117,35 ± 36,37	de
LP4703	20,45 ± 14,75	e	50,43 ± 7,59	de	46,36 ± 14,37	d	72,31 ± 8,02	f
LP923	48,72 ± 3,76	cd	60,76 ± 10,19	d	57,95 ± 4,63	d	94,97 ± 4,57	ef
LP2542xLP29	61,87 ± 13,16	bc	122,48 ± 14,42	b	92,27 ± 5,27	bc	177,11 ± 20,71	ab
LP2542xLP4703	79,92 ± 15,82	ab	127,16 ± 13,58	b	104,88 ± 16,87	ab	161,15 ± 13,35	bc
LP29xLP4703	69,79 ± 23,37	abc	114,24 ± 5,18	bc	99,20 ± 19,82	abc	141,41 ± 12,87	cd
LP29xLP923	89,87 ± 16,62	a	134,70 ± 25,13	ab	114,65 ± 8,59	a	188,28 ± 13,50	a
LP923xLP2542	86,15 ± 17,56	a	153,24 ± 15,55	a	114,18 ± 12,70	a	175,56 ± 23,01	ab
LP923xLP4703	77,15 ± 10,05	ab	95,08 ± 5,55	c	85,83 ± 7,43	c	134,01 ± 4,99	d

NGM ² (granos m ⁻²)								
Genotipos	Secano				Riego			
	DA		DB		DA		DB	
LP29	750,00 ± 597,05	e	868,28 ± 227,08	d	2597,64 ± 135,15	c	2017,89 ± 379,48	e
LP2542	1504,32 ± 413,63	de	1689,10 ± 317,13	c	4956,72 ± 583,05	a	3070,69 ± 1106,30	cd
LP4703	1511,28 ± 1073,97	de	2038,40 ± 426,10	c	2956,20 ± 866,89	c	2623,53 ± 286,92	de
LP923	2392,80 ± 202,90	cd	1875,58 ± 297,13	c	3009,12 ± 325,24	c	2827,16 ± 87,14	d
LP2542xLP29	2648,04 ± 491,55	bcd	3013,78 ± 415,93	b	4074,72 ± 150,16	b	3870,23 ± 503,92	ab
LP2542xLP4703	3876,48 ± 354,24	ab	3314,64 ± 388,69	ab	4656,84 ± 607,83	ab	3846,36 ± 203,73	ab
LP29xLP4703	3100,92 ± 1134,98	abc	2933,49 ± 166,70	b	4507,32 ± 752,04	ab	3270,47 ± 63,54	bcd
LP29xLP923	3992,16 ± 561,86	a	3183,95 ± 644,12	b	4795,32 ± 407,65	ab	3902,99 ± 282,33	ab
LP923xLP2542	4107,60 ± 999,10	a	3830,19 ± 349,03	a	4962,72 ± 207,04	a	4013,17 ± 203,29	a
LP923xLP4703	4327,44 ± 658,25	a	3115,00 ± 295,39	b	4669,68 ± 318,06	ab	3548,51 ± 168,57	abc

RGm ² (g m ⁻²)								
Genotipos	Secano				Riego			
	DA		DB		DA		DB	
LP29	214,32 ± 182,64	e	252,84 ± 85,54	e	693,84 ± 38,34	d	252,84 ± 134,42	f
LP2542	350,52 ± 102,30	de	433,58 ± 90,34	d	1152,72 ± 77,60	abc	433,58 ± 254,57	de
LP4703	245,40 ± 176,99	e	353,01 ± 53,16	de	556,32 ± 172,41	d	353,01 ± 56,12	f
LP923	584,64 ± 45,12	cd	425,32 ± 71,32	d	695,40 ± 55,55	d	425,32 ± 31,96	ef
LP2542xLP29	742,44 ± 157,90	bc	857,36 ± 101	b	1107,24 ± 63,18	bc	857,36 ± 144,97	ab
LP2542xLP4703	959,04 ± 189,86	ab	890,12 ± 95,09	b	1258,56 ± 202,47	ab	890,12 ± 93,46	bc
LP29xLP4703	837,48 ± 280,43	abc	799,68 ± 36,26	bc	1190,40 ± 237,78	abc	799,68 ± 90,07	cd
LP29xLP923	1078,44 ± 199,45	a	942,90 ± 175,9	ab	1375,80 ± 103,05	a	942,90 ± 94,52	a
LP923xLP2542	1033,80 ± 210,71	a	1072,68 ± 108,9	a	1370,16 ± 152,38	a	1072,68 ± 132,75	ab
LP923xLP4703	925,80 ± 120,64	ab	665,56 ± 38,85	c	1029,96 ± 89,20	c	665,56 ± 34,91	d

IC								
Genotipos	Secano				Riego			
	DA		DB		DA		DB	
LP29	0,17 ± 0,08	c	0,22 ± 0,06	e	0,39 ± 0,02	d	0,36 ± 0,06	e
LP2542	0,26 ± 0,07	c	0,33 ± 0,04	d	0,44 ± 0,01	c	0,43 ± 0,05	cd
LP4703	0,26 ± 0,12	c	0,35 ± 0,01	d	0,34 ± 0,04	e	0,37 ± 0,03	de
LP923	0,42 ± 0,01	ab	0,40 ± 0,03	c	0,39 ± 0,03	d	0,47 ± 0,01	bc
LP2542xLP29	0,39 ± 0,02	b	0,48 ± 0,01	ab	0,46 ± 0,05	bc	0,52 ± 0,04	ab
LP2542xLP4703	0,45 ± 0,06	ab	0,48 ± 0,01	ab	0,47 ± 0,01	abc	0,49 ± 0,02	ab
LP29xLP4703	0,45 ± 0,07	ab	0,46 ± 0,01	b	0,48 ± 0,01	abc	0,48 ± 0,03	abc
LP29xLP923	0,53 ± 0,01	a	0,52 ± 0,03	a	0,50 ± 0,01	ab	0,53 ± 0,03	a
LP923xLP2542	0,48 ± 0,02	ab	0,50 ± 0,03	ab	0,52 ± 0,01	a	0,54 ± 0,03	a
LP923xLP4703	0,46 ± 0,04	ab	0,48 ± 0,01	ab	0,47 ± 0,02	bc	0,48 ± 0,03	abc

Genotipos	PMG (g)							
	Secano				Riego			
	DA		DB		DA		DB	
LP29	285,76 ± 20,51	a	291,20 ± 27,90	ab	267,10 ± 11,83	ab	272,24 ± 32,23	cd
LP2542	233,01 ± 13,66	de	256,69 ± 30,79	bc	232,56 ± 20,14	c	267,51 ± 20,9	cd
LP4703	162,38 ± 11,76	f	173,18 ± 12,86	e	188,19 ± 4,06	d	192,93 ± 1,62	f
LP923	244,33 ± 9,76	cd	226,77 ± 20,86	cd	231,10 ± 9,48	c	235,14 ± 4,13	e
LP2542xLP29	280,37 ± 12,94	a	284,48 ± 14,91	ab	271,73 ± 6,44	ab	320,33 ± 14,01	ab
LP2542xLP4703	247,40 ± 27,87	cd	268,54 ± 13,55	ab	270,26 ± 10,28	ab	293,28 ± 9,68	bcd
LP29xLP4703	270,07 ± 9,44	ab	272,60 ± 11,95	ab	264,10 ± 10,18	b	302,67 ± 29,26	bc
LP29xLP923	270,14 ± 11,25	abc	296,14 ± 6,49	a	286,90 ± 15,59	a	337,68 ± 1,96	a
LP923xLP2542	251,68 ± 9,98	bcd	280,06 ± 10,39	ab	276,09 ± 19,04	ab	306,22 ± 18,67	ab
LP923xLP4703	213,94 ± 7,26	e	213,66 ± 10,07	d	220,56 ± 9,35	c	264,36 ± 14,54	de