



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

**EVALUACIÓN DE HETEROSIS Y HABILIDAD COMBINATORIA EN LÍNEAS
RESTAURADORAS EXÓTICAS DE SORGO GRANÍFERO (*Sorghum bicolor* (L.)**

Moench)

GONZALO ALEJO CUCIT

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE MAGISTER EN GENÉTICA VEGETAL

DIRECTOR: PhD. MARÍA ANDREA TOMAS

CO- DIRECTOR: Dr. FERNANDO LÓPEZ ANIDO

CONSEJERO: DIEGO ALEJANDRO DRUETTO

AÑO 2020

**EVALUACIÓN DE HETEROSIS Y HABILIDAD COMBINATORIA EN LÍNEAS
RESTAURADORAS EXÓTICAS DE SORGO GRANÍFERO (*Sorghum bicolor* (L.)
Moench)**

GONZALO ALEJO CUCIT

Ingeniero Agrónomo – Universidad Nacional de Litoral

Esta Tesis es presentada como parte de los requisitos para optar al grado académico de Magister en Genética Vegetal, de la Universidad Nacional de Rosario y no ha sido previamente presentada para la obtención de otro título en ésta u otra Universidad. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en Ataliva, Santa Fe, durante el período comprendido entre octubre de 2016 y mayo de 2018, bajo la dirección de María Andrea Tomas y Fernando López Anido.

Ing. Agr. Gonzalo Alejo Cucit

Director: PhD. María Andrea Tomas

Co- Director: Dr. Fernando López Anido

Defendida:de 20__.

AGRADECIMIENTOS

A Andrea Tomas y Fernando López Anido por su confianza, asesoría y apoyo en el desarrollo del trabajo de tesis.

A Nuseed S.A. por brindarme la posibilidad de realizar el posgrado. A mis compañeros del sector de investigación por el apoyo durante este período.

A Diego Druetto por estar siempre dispuesto a formarme y apoyarme tanto en lo personal como en lo laboral.

A Vanesa Pilatti por su colaboración y su incondicional apoyo.

A mi familia por estar siempre.

A Agustín Alesso por su importante ayuda en el análisis de datos.

INDICE

RESUMEN	5
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN	8
OBJETIVOS	14
Objetivo general	14
Objetivos específicos	14
Hipótesis sustantiva	14
Hipótesis de trabajo.....	14
MATERIALES Y MÉTODOS	15
Material genético	15
Obtención de híbridos	15
Diseño experimental	15
Colecta de datos	16
Análisis estadísticos	16
RESULTADOS	19
Campaña 2016-2017	19
Campaña 2017-2018	19
Análisis de correlación y componentes principales	25
Heterosis respecto al padre superior	27
Heterosis respecto al testigo de mayor rendimiento	28
Aptitud combinatoria general.....	29
Aptitud combinatoria específica	32
Modelo de regresión en sitios	35
DISCUSIÓN.....	42
Medias de los genotipos.....	42
Análisis de correlación y componentes principales	43
Heterosis respecto al padre superior	44
Heterosis respecto al testigo de mayor rendimiento	45

Aptitud combinatoria general y específica	45
Modelo de regresión en sitios	48
Análisis de líneas destacadas y posibles cruzamientos	50
CONCLUSIÓN	52
BIBLIOGRAFÍA	54
ANEXO I.....	63
ANEXO II	64
ANEXO III	69
ANEXO IV	70
ANEXO V	71
ANEXO VI.....	72
ANEXO VII.....	73
ANEXO VIII	74
ANEXO IX.....	78
ANEXO X	82
ANEXO XI.....	86

RESUMEN

Sorghum bicolor (L.) Moench es una gramínea de reproducción predominantemente autógama que presenta características morfológicas y fisiológicas favorables especialmente para zonas de bajos regímenes pluviométricos y suelos pobres en nutrientes y estructura. A través del Programa de Recursos Genéticos Nacionales (NGRP) del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) se pueden obtener germoplasmas exóticos vigentes con alto valor genético para ser utilizados en los programas de mejoramiento y aumentar así la base genética de las poblaciones. Evaluar el comportamiento de estas líneas exóticas es primordial antes de introducirlas a los programas ya establecidos. Con este objetivo, en el campo experimental de la empresa Nuseed S.A., ubicado en la localidad de Ataliva (Santa Fe), se evaluaron 40 líneas restauradoras exóticas (R), las cuales fueron utilizadas para la creación de híbridos con cuatro líneas androestériles (A) a través de cruzamientos dirigidos en la campaña 2016/17. En la campaña siguiente se evaluaron mediante un ensayo en bloques completamente aleatorizado con tres repeticiones un total de cuatro líneas A, 38 líneas R, 133 híbridos F1. Las variables evaluadas fueron: 1) rendimiento de grano, 2) días a floración (DAF), 3) altura de planta y 4) excersión de panoja. En primera instancia, se realizó un análisis de correlación y un análisis multivariado de componentes principales. A su vez, para la variable rendimiento de grano se calculó la heterosis respecto al mejor padre y en comparación con el mejor híbrido testigo (heterosis práctica). Además, a través de un modelo mixto se estimó componentes de varianza y covarianza utilizando el método de estimación por máxima verosimilitud restringida (REML). Utilizando el diseño II de Carolina del Norte se evaluaron los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) de las líneas A y R, y aptitud combinatoria específica (ACE) entre los progenitores involucrados para las cuatro variables. Por último, con las líneas que presentaban combinaciones completas se graficaron biplot de modelo de regresión en sitios (SREG) para cada variable con el fin de determinar las mejores interacciones entre los progenitores. Como resultado para la variable rendimiento de grano se encontraron cinco líneas que reunían las condiciones deseadas (R.5, R.6, R.25, R.26 y R.40) pudiendo conformarse con ellas dos grupos heteróticos. En el caso de días a floración tres de las líneas evaluadas mostraron un comportamiento superior al resto (R.6, R.20 y R.28), las cuales constituyeron dos grupos heteróticos. Para la variable altura de planta tres líneas se destacaron (R.10, R.24 y R.29), las cuales a su vez también es posible separarlas en distintos grupos heteróticos. Finalmente, para la variable excersión de panoja cuatro líneas resultaron

notorias (R.19, R.25, R.36 y R.37), pertenecientes a dos grupos distintos. Los resultados indican que la utilización de materiales exóticos constituiría una fuente explotable de alelos externos y permitiría agregar variabilidad a las poblaciones normalmente trabajadas en un programa de mejoramiento genético.

Palabras clave: sorgo granífero, germoplasma exótico, heterosis, aptitud combinatoria general, aptitud combinatoria específica.

ABSTRACT

EVALUATION OF HETEROSIS AND COMBINING ABILITY IN EXOTIC GRAIN SORGHUM RESTORATION LINES (*Sorghum bicolor* (L.) Moench).

Sorghum bicolor (L.) Moench is a self-pollinated breeding grass with morphological and physiological favorable traits. Assessing the behavior of exotic lines is critical before introducing them into established breeding programs. In the experimental field of Nuseed S.A. company, located in Ataliva (Santa Fe), a total of four A lines, 38 R lines, 133 F1 hybrids were tested using a completely randomized block trial with three repetitions. The evaluated traits were: 1) grain yield, 2) days to flowering (DAF), 3) plant height and 4) panicle exertion. Best parent heterosis and heterosis over best commercial entry were calculated for grain yield. Using North Carolina II design, the effects of general and specific combining ability were calculated. The lines with the best overall performance were R.5, R.6, R.25, R.26 and R.40 for grain yield, R.6, R.20 and R.28 for days to flowering, R.10, R.24 and R.29 for plant height, and R.19, R.25, R.36 and R.37 for panicle exertion. The results indicate that the use of exotic materials would be an exploitable source of external alleles to be added to the populations normally involved in breeding programs.

Key words: grain sorghum, exotic germplasm, heterosis, general combining ability, specific combining ability.

INTRODUCCIÓN

El sorgo es el quinto cereal en importancia a nivel mundial detrás del maíz (*Zea mays* L.), el trigo (*Triticum aestivum* L.), el arroz (*Oryza sativa* L.) y la cebada (*Hordeum vulgare* L.), aportando el tres por ciento de la producción total (FAO, 2011; Barberis y Sánchez, 2013). El cultivo de sorgo fue domesticado por primera vez hace aproximadamente 4.000 a 6.000 años en el noreste de África. Posteriormente, los sorgos cultivados se extendieron a otras regiones de África, India y China a través de rutas de comercio y migración (Kimber, 2000). En los últimos años, la demanda mundial de sorgo se vio favorecida por el incremento demográfico de los países en desarrollo y la economía mundial (Colazo et al., 2012).

En los últimos años en Argentina se observó una notable tendencia en el crecimiento de superficie sembrada con sorgo debido a su excelente adaptación, potencial y su importancia para el desarrollo sustentable (Carrasco et al., 2011), alcanzando unas 840.000 has sembradas en 2016 (Bolsa de Cereales, 2017). La producción anual de sorgo ronda los cinco millones de toneladas, de las cuales entre 1,5 y 2,2 millones son exportadas (Casuso et al., 2016). Entre las principales zonas cultivadas del país se encuentran las regiones Centro (Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos), Sur (Buenos Aires), Norte (Chaco, Corrientes, Formosa, Santiago del Estero y Tucumán) y Oeste (La Pampa y San Luis).

La gran expansión de este cultivo se debe a la presencia de rasgos agronómicos importantes como: bajos requerimientos hídricos, mayor adaptación a regiones secas, tolerancia a suelos pobres y alto aporte de rastrojos necesarios para desarrollar una agricultura sustentable, permitiendo la recuperación del suelo y su fertilidad (Vallati, 2008; Pérez et al., 2010; Mace et al., 2013). Además, su mayor eficiencia de transpiración le permite desarrollarse y sobrevivir, mejor que otros cultivos, bajo condiciones de sequía prolongada (Doggett, 1988; Rooney, 2004). Estas cualidades le confieren la capacidad de adaptarse a áreas marginales con limitantes edafoclimáticas importantes, producto de la expansión agrícola e intensificación de la producción ganadera (Giorda et al., 2012). A su vez, presenta diferentes usos, ya sea como alimento, forraje, biocombustible, fibra y energía (Foley et al., 2011; Evans et al., 2013).

El sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), pertenece a la familia de las gramíneas. Es una especie de reproducción predominantemente autógena (autofecundación), con una tasa de alogamia (polinización cruzada) del 0 al 30% dependiendo del genotipo y de las condiciones ambientales previas a la antesis (Schertz y Dalton, 1980). Los sorgos graníferos

se caracterizan por un gran desarrollo de las estructuras reproductivas y se destinan básicamente para la producción de granos (Turner et al., 2016). Dentro de estos, una característica importante es la duración del ciclo desde la siembra a la floración, clasificándose generalmente en tres grupos principales: maduración temprana, media y tardía. Los híbridos de sorgo que presentan maduración temprana o ciclo corto florecen antes de los 62 días, los de ciclo intermedio florecen entre los 63 a 70 días, y los de maduración tardía o ciclo largo, florecen después de los 70 días (Cordes et al., 2013). Conocer la duración del ciclo que presenta cada híbrido en particular, es fundamental para determinar aquellos que se adaptan mejor al clima, a las condiciones edáficas y al momento de siembra de una zona determinada. Los sorgos de ciclos largos presentan mayor rendimiento potencial, pero requieren más tiempo para terminar el mismo: son sembrados en la zona norte y centro del país (Carrasco et al., 2011). Por otra parte, los de ciclos cortos, si bien poseen un potencial de rendimiento más acotado presentan mayores posibilidades de expresarlo y estabilidad a través de los años. Estos últimos, se caracterizan por un menor consumo de agua por parte del cultivo, en comparación con los anteriores, y son utilizados en la zona sur y centro del país y en siembras de segunda (Carrasco et al., 2011).

A lo largo de los años, se han realizado numerosos trabajos que relacionan la duración del ciclo que presentan los sorgos, con diferentes variables. Por ejemplo, se correlacionó con variables morfológicas como la altura de la planta (Badwal, 1970; Goud y Asawa, 1978; Taurchi y Rezai, 1997; Sunku et al., 2002; Ezeaku y Mohammed, 2006; Warkad et al., 2010; Mahajan et al., 2011; Almeida et al., 2014), longitud de la panoja (Jeyaprakash et al., 1997; Taurchi y Rezai, 1997; Mahajan et al., 2011), ancho de panoja (Mahajan et al., 2011), longitud de la hoja (Sunku et al., 2002), número de hojas (Sunku et al., 2002; Warkad et al., 2010), ancho de hoja (Sunku et al., 2002), entre otras. Además, los ciclos de floración se relacionaron con variables componentes del rendimiento como número de granos, peso de 100 granos (Badwal, 1970; Taurchi y Rezai, 1997), peso de la panoja (Veerbadhiran et al. 1994, Jeyaprakash et al., 1997; Ezeaku y Mohammed, 2006), número de granos por panoja (Mahajan et al., 2011), rendimiento de forraje seco (Jeyaprakash et al. 1997), peso de materia seca (Sunku et al., 2002), peso de forraje (Warkad et al., 2010), entre otras.

La producción comercial de semilla de sorgo se basa en el desarrollo de híbridos, la cual desde el año 1954 hace uso de la esterilidad genético-citoplasmática, en la que se utiliza líneas A (androestériles) como hembras, evitando así el trabajo de la castración manual. Esto

permitió lograr una producción económicamente viable de semilla híbrida a gran escala por fecundación cruzada, permitiendo explotar el potencial heterótico del sorgo (Quinby y Martin, 1954; Stephens y Holland, 1954). Las líneas A derivan de líneas B (mantenedoras), siendo cada línea A isogénica de su línea B correspondiente, es decir, genéticamente idéntica en todos los loci excepto para la androesterilidad. La androesterilidad genético-citoplasmática está determinada por la interacción entre el citoplasma y un par de alelos nucleares. Existen diferentes interacciones que dan origen a las líneas: 1) mantenedoras: aquellas que presentan citoplasma fértil y alelos recesivos para androesterilidad [(F) rr]; 2) restauradoras: aquellas que presentan citoplasma fértil o estéril y alelos dominantes para androesterilidad [(S) RR o (F) RR]; 3) androestériles: aquellas que presentan citoplasma estéril y alelos recesivos para el gen responsable de la androesterilidad [(S) rr] (Rooney, 2004).

En general, en los programas de mejoramiento de sorgo, suele trabajarse con dos grupos: un grupo para el desarrollo de líneas R (grupo de restauradoras) y otro grupo para el desarrollo de las líneas B / A (grupo de mantenedoras). En una etapa más avanzada, resulta necesario evaluar las líneas endocriadas obtenidas en ambos grupos mediante combinaciones híbridas, donde las líneas experimentales son cruzadas por una línea común (probador). Los híbridos obtenidos se evalúan por su rendimiento y otros caracteres de importancia y en base a los resultados obtenidos las mejores líneas parentales son seleccionadas para continuar en el programa. Identificar un probador eficaz para los cruzamientos resulta crucial porque permite clasificar y evaluar correctamente las líneas y maximizar la variancia entre la progenie del cruzamiento prueba (Rawlings y Thompson, 1962).

Debido a la demanda y necesidad de obtener mejores y nuevos híbridos comerciales, los fitomejoradores suelen utilizar materiales mejorados como progenitores de nuevos materiales. En consecuencia, el uso de germoplasma conservados proveniente de bancos de germoplasma es bajo en todo el mundo. Sin embargo, existen diversas colecciones alrededor del mundo. Dentro de estas, una de las más importantes es el Sistema Nacional de Germoplasma de Plantas (NPGS) en los Estados Unidos cuya responsabilidad es la de adquirir, caracterizar, preservar, documentar y distribuir a los científicos, el germoplasma de todas las formas de vida importantes para la producción agrícola y alimentaria. Gracias a la existencia de dicho sistema se pueden obtener germoplasmas exóticos vigentes con alto valor genético para ser utilizados en los programas de mejoramiento. Características como adaptación, longitud de ciclo, rendimiento estable y resistencia a enfermedades justifican su mantenimiento y uso en

la producción comercial, tanto por su valor actual como por su valor potencial para el mejoramiento genético (Rivas y Berreta, 2001). En un programa de mejoramiento cuando se incorporan materiales exóticos generalmente se requieren actividades de pre mejoramiento (Pritsch, 2001). Dichas actividades se asocian con la identificación de los rasgos y/o genes deseables desde el germoplasma no adaptado (donante) que viabilice la transferencia de variabilidad genética útil al material adaptado (receptor), manteniendo las combinaciones multialélicas presentes en el material elite (Pritsch, 2001). Para ello, se requiere de diseños genéticos o de apareamiento que se utilizan para conocer la acción génica de caracteres cuantitativos, determinar la aptitud combinatoria de los progenitores, seleccionar los mejores y diseñar los métodos de mejoramiento más eficientes. Dentro de los métodos comúnmente usados están los diseños de Carolina del Norte I, II y III, y el dialélico que utilizan los progenitores cruzados en distintas combinaciones para evaluar su comportamiento y el de su progenie (Comstock y Robinson, 1948; Griffing, 1956; Fehr, 1987). Finalmente, la elección del método a emplear estará en función de las propiedades genéticas de las poblaciones de interés y los objetivos de la investigación (Hallauer y Miranda, 1988).

Los estudios de efectos heteróticos y habilidad combinatoria constituyen una buena alternativa para un mejor aprovechamiento de genes deseables, que puedan ser integrados en poblaciones mejoradas y aumentar su base genética (Pérez et al., 1995; Machado y Miranda, 2003). El término “heterosis” describe el aumento de vigor de los individuos híbridos (F1) con respecto a la media de los padres (Shull, 1914). Las dos principales hipótesis para este fenómeno son la de la dominancia y la de la sobredominancia. La hipótesis de la dominancia declara que la heterosis se debe al enmascaramiento de alelos recesivos desfavorables en un heterocigota (Davenport, 1908; Bruce, 1910; Keeble y Pellew, 1910). Mientras que la hipótesis de la sobredominancia sugiere que la condición heterocigótica es responsable de la heterosis y que la misma es debida a la inherente superioridad del heterocigota sobre ambos homocigotas (Shull, 1908; East, 1908; Hull, 1945). En general, cuanto mayor divergencia genética presenten los parentales que dan origen a un determinado híbrido, mayor es el grado de heterosis que puede existir. Sin embargo, cruces extremadamente divergentes pueden resultar en una disminución de la heterosis (Moll et al., 1965). Además, la heterosis se expresa de tres formas distintas dependiendo del genotipo usado como referencia: 1) heterosis respecto al promedio de los padres, 2) heterosis respecto al parental superior y 3) heterosis relativa o práctica, como incremento o disminución en el comportamiento de un híbrido

comparado con un testigo comercial o variedad adaptada a la región (Fehr, 1987; Virmani et al., 2004). Particularmente en sorgo, se realizaron numerosos estudios sobre heterosis, en los cuales se manifestó mediante un mayor rendimiento de grano, mayor crecimiento vegetativo y desarrollo de hojas, láminas más largas y más anchas, floración más temprana, mayor peso de semilla, mayor número de semillas por planta y por panoja, incremento en el número de panojas por planta, mayor velocidad de emergencia, vigor y peso seco de plántulas (Bartel, 1949; Stephens y Quinby, 1952; Quinby, 1963; Beil y Atkins, 1967; Kirby y Atkins, 1968; Yu y Tuinstra, 2001; Kenga et al., 2005; Premalatha et al., 2006; Cisneros et al., 2007; Makanda et al., 2010; Kanbar et al., 2011; Mahdy et al., 2011; Tariq et al., 2014; Rani et al., 2014; Kumar y Chand, 2015; Jadhav y Deshmukh, 2017).

Por otra parte, la aptitud combinatoria se refiere a la capacidad que tienen un individuo o una población de combinarse con otros, medida por medio de su progenie (Sprague y Tatum, 1942; Márquez, 1998). Aptitud combinatoria general (ACG) se define como el comportamiento promedio de una línea en sus combinaciones híbridas con un conjunto de líneas diferentes y su valor es principalmente determinado por el efecto aditivo de los genes (Sprague y Tatum, 1942). Por otro lado, la aptitud combinatoria específica (ACE) se define como la desviación que presenta la progenie de una cruce determinada, con respecto al comportamiento promedio de sus progenitores, la cual se debe a los efectos no aditivos de los genes (Poehlman y Allen, 2003). Así, al cruzar una línea con otras se obtiene el rendimiento medio de la línea en todas sus combinaciones, este rendimiento medio es la ACG de la línea cuando se expresa como desviación de la media de todos los cruces. Las sumas de las ACGs de dos líneas parentales representan el valor esperado para un cruzamiento particular, sin embargo, el valor real puede desviarse en mayor o menor medida del valor esperado, siendo esta desviación la ACE de la combinación de esas dos líneas. En términos estadísticos, las ACGs representan los efectos principales y la ACE corresponde a la interacción (Bernardo, 2014). Estudiar los efectos de aptitud combinatoria de distintos materiales con los que se dispone son una poderosa herramienta para la selección de padres y cruzamientos deseables que permite explotar la heterosis y obtener segregantes deseables (Sarker et al., 2002; Rashid et al., 2007), siendo una estrategia confiable para la selección de progenitores para el desarrollo de híbridos de sorgo granífero (Mendoza, 1988). A lo largo de los años, se realizaron numerosos estudios en sorgo que evaluaron la aptitud combinatoria de diferentes caracteres como rendimiento de grano, tamaño de grano, contenido de proteína, altura de

planta, días a floración, longitud de la inflorescencia, longitud de tallo, peso de 1000 granos, entre otras (Malm, 1968; Shankaregowda et al., 1972; Goud et al., 1973; Rao et al.; 1982; Shahane y Bapat, 1981; Shinde y Sudewad, 1981; Giriraj y Goud, 1982; Badhe y Patil, 1997; Can et al., 1997; Biradar et al., 2000; El-Mottaleb y Asran, 2004; Kenga et al., 2004; Tadesse et al., 2008; Mohammed y Talib, 2008; Kamdi et al., 2009; Prakash et al., 2010; Kanbar et al., 2011; Mahdy et al., 2011; Tariq et al., 2014; Rani et al., 2014; Kumar y Chand, 2015; Akata et al., 2017; Jadhav y Deshmukh, 2017). Así mismo, es posible tener una aproximación visual a través de gráficos biplot mediante el uso de modelos de regresión en sitios (SREG), los cuales reflejan las distintas interacciones entre los progenitores (Yan y Hunt, 2002).

En base a lo expuesto, el propósito de esta investigación es evaluar el comportamiento de un grupo de líneas exóticas liberadas a través del Programa de Recursos Genéticos Nacionales del Departamento de Agricultura de Estados Unidos para identificar las más sobresalientes y su posible adaptación e incorporación a un programa de mejoramiento de sorgo. Para esto se caracterizaron agronómicamente las nuevas líneas exóticas y su descendencia, y se evaluaron los efectos heteróticos y habilidad combinatoria general y específica de las mismas.

OBJETIVOS

Objetivo general

Estimar los efectos de heterosis y aptitud combinatoria en líneas restauradoras de sorgo exóticas con el propósito de identificar las más sobresalientes para su posterior uso como progenitoras de híbridos en un programa de mejoramiento.

Objetivos específicos

1. Caracterizar y evaluar efectos heteróticos de las líneas a través de cruzamientos.
2. Evaluar aptitud combinatoria general de las líneas.
3. Evaluar efecto de aptitud combinatoria específica entre las líneas involucradas.

Hipótesis sustantiva

Las líneas restauradoras exóticas de sorgo presentan buena aptitud combinatoria general y específica con las progenitoras hembras comúnmente usadas en un programa de mejoramiento.

Hipótesis de trabajo

1. Las líneas restauradoras exóticas cruzadas con las líneas androestériles producen híbridos con características de ciclo corto (menor a 60 días desde emergencia a floración) y buen rendimiento en grano.
2. Las líneas restauradoras exóticas presentan buena aptitud combinatoria general con las líneas androestériles.
3. Las líneas restauradoras exóticas presentan alta aptitud combinatoria específica con al menos una línea androestéril.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

Se trabajó con cuatro líneas A (androestéril) elite del programa actual de mejoramiento de la empresa Nuseed S.A. y 40 líneas R (fértil restauradora), seleccionadas aleatoriamente de un grupo de líneas exóticas provenientes del National Genetic Resources Program (NGRP) del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) (Ver Anexo I).

Obtención de híbridos

Todo el trabajo a campo, ensayos y análisis se llevaron a cabo en el campo experimental de la empresa Nuseed S.A. en la localidad de Ataliva (Santa Fe).

En la campaña 2016/17 se realizaron los cruzamientos dirigidos de las líneas [androestéril (A) x restauradora (R)]. Para ello, se sembraron tres bloques de cruzamientos idénticos distanciados en 15 días para asegurar la sincronía floral entre las líneas. Las siembras se efectuaron el primero de noviembre, 15 de noviembre y primero de diciembre de 2016. Las líneas A y R se sembraron intercaladas para facilitar las tareas de cruzamiento y la recepción del polen. Cada parcela constó de cinco metros de largo y una separación de 52 cm entre surcos. Para el cruzamiento, las panojas de las líneas hembras (A) fueron tapadas con bolsas de papel antes de anthesis [etapa seis en la escala de crecimiento y desarrollo de Vanderlip (1993)] para evitar contaminación de polen externo. En el estadio de floración se fecundaron éstas con polen de la línea R próxima o de alguna de las otras fechas de siembra en caso de no coincidir en floración. Se realizaron ocho cruzamientos por cada una de las 160 combinaciones AxR. Luego se cosecharon a mano las panojas de cada surco de A (semilla híbrida) y se identificaron en sobre individuales.

Diseño experimental

En la campaña 2017/18, se sembraron cuatro líneas A, 38 líneas R, 133 híbridos F1 obtenidos en la campaña anterior del cruzamiento de AxR y tres híbridos testigos. El ensayo se diseñó en bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones. La fecha de siembra fue el 20 de octubre de 2017, se utilizó el sistema siembra directa y se realizó una aplicación de 80 kg / ha de N como urea al momento de la siembra. Se utilizó protección con redes para aves y se realizaron aplicaciones pertinentes para protección contra insectos. Cada parcela experimental constó de dos surcos de cinco metros a una distancia de 52 cm entre ellos.

Colecta de datos

Para las mediciones y observaciones se utilizó como referencia las diferentes etapas de crecimiento y desarrollo de la escala de Vanderlip (1993). Se registraron datos de: 1) Rendimiento de grano (medido en gramos por parcela y convertido a kg/ha corregidos a 14% de humedad, utilizándose un factor de conversión basado en la distancia entre surcos y la longitud de parcela), 2) Días a floración (evaluado como variable cuantitativa discreta): medido en días desde emergencia (etapa cero) a 50% de floración (etapa seis), 3) Altura de planta: medido como distancia en centímetros entre el nivel de suelo y el ápice de la planta en estadio de madurez fisiológica (etapa nueve) y 4) Excursión de panoja: medido como la longitud en centímetros desde la hoja bandera hasta la base de la panoja.

Análisis estadísticos

Los análisis estadísticos se realizaron en el software R (R Core Team, 2018).

Con las medias de los parentales e híbridos se calcularon los valores de la media, mínimo y máximo y se realizaron gráficos de caja para cada una de las variables evaluadas utilizando el paquete tidyverse. Además, se realizó un análisis de correlación y un análisis multivariado de componentes principales. Las interacciones entre las variables se graficaron mediante biplot para las diferentes líneas e híbridos.

La heterosis se estimó únicamente para la variable rendimiento de grano como porcentaje del incremento o disminución en el comportamiento de un híbrido respecto al mejor padre y en comparación con el mejor híbrido testigo (heterosis práctica) (Fehr, 1987; Virmani et al., 2004). El cálculo de las mismas se realizó según las siguientes formulas:

Heterosis con respecto al mejor padre (HMP):

$$HMP = \frac{F_1 - P}{P} \times 100$$

Heterosis con respecto al mejor testigo (HT):

$$HT = \frac{F_1 - T}{T} \times 100$$

Donde: F_1 es el promedio de rendimiento del híbrido F_1 ; P es el promedio de rendimiento del progenitor más rendidor; T es el promedio de rendimiento del testigo más rendidor.

Para el análisis de variancia se utilizó el modelo mixto considerando las líneas A como efectos fijos y las líneas R y sus interacciones como efectos aleatorios. La estimación de componentes de variancia y covarianza se realizó con los paquetes lme y lmer, utilizando el método de estimación por máxima verosimilitud restringida (REML), el cual es consistente y no requiere de datos balanceados (Searle et al., 1992; Galán Caballero et al., 2002).

El modelo estadístico es el siguiente:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \rho_k + \varepsilon_{ijk}$$

Donde: $i = 1, 2, \dots, 38$ (machos); $j = 1, 2, \dots, 4$ (hembra); $k = 1, 2, 3$ (repeticiones); y_{ijk} es la k -ésima observación de la combinación de la j -ésima hembra y el i -ésimo macho; μ es la media general; α_i es el efecto aleatorio del i -ésimo macho; β_j es el efecto fijo de la j -ésima hembra; $(\alpha\beta)_{ij}$ es el efecto aleatorio del i -ésimo macho combinado con la j -ésima hembra; ρ_k es el efecto del k -ésimo bloque; ε_{ijk} es error experimental asociado con la ij -ésima cruza en la k -ésima repetición; α , $(\alpha\beta)$ y ε son variables aleatorias con distribución normal, media 0 y variancia σ_α^2 , $\sigma_{\alpha\beta}^2$ y σ_ε^2 respectivamente.

Luego, mediante el diseño II de Carolina del Norte, propuesto por Comstock y Robinson (1948), se evaluaron los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) de las líneas A y R, y aptitud combinatoria específica (ACE) entre los progenitores involucrados para las variables rendimiento de grano, días a floración, altura de planta y excersión de panoja de acuerdo con los principios propuestos por Sprague y Tatum (1942). Los análisis se ejecutaron en R utilizando los paquetes lmer, lme, y tidyverse. El modelo aditivo que se utilizó para estimar los efectos de ACG y ACE es el siguiente:

$$X_{ijk} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde: X_{ijk} es el valor de la variable medida para el cruzamiento del i -ésimo macho con la j -ésima hembra en la k -ésima repetición; μ es la media general; g_i es el efecto de ACG del i -ésimo macho; g_j es el efecto de ACG de la j -ésima hembra; s_{ij} es el efecto de ACE la ij -ésima cruza; ε_{ijk} es el error asociado a la observación X_{ijk} .

La significancia estadística de la diferencia entre las ACGs de las líneas y las ACEs de los cruzamientos se evaluó mediante la prueba de t, como indica Singh y Chaudhary (1979).

Por último, con las líneas que presentaban combinaciones completas (línea R cruzada por las cuatro líneas A) se graficaron biplot de modelo de regresión en sitios (SREG), mediante el software GEA-R (Pacheco et al., 2015), para las variables rendimiento de grano, días a floración, altura de planta y excursión de panoja, con el fin de determinar las mejores interacciones entre los progenitores para cada variable.

RESULTADOS

Campaña 2016-2017

Híbridos obtenidos. De los cruzamientos dirigidos entre las líneas A y R realizados se obtuvo un total de 133 híbridos. De las cruces de los progenitores utilizados se obtuvieron 21 combinaciones completas (4 líneas A x 21 líneas R) y 17 combinaciones incompletas (3 líneas A x 15 líneas R y 2 líneas A x 2 líneas R). Todos los cruzamientos realizados con las líneas R.7 y R.35 no produjeron semillas. De este modo, del total de combinaciones posibles, el 83% resultaron fértiles y produjeron semilla viable para utilizar en los ensayos de la siguiente campaña.

Campaña 2017-2018

Se realizó un ensayo utilizando los 133 híbridos obtenidos de los cruzamientos realizados en la campaña anterior, sus parentales (líneas A y R) y tres híbridos testigos (Figura 1) en el cual se evaluaron las variables rendimiento de grano, días a floración, altura de planta y excersión de panoja.



Figura 1. Foto del ensayo en bloques completamente aleatorizados. Incluyendo líneas A y R, híbridos experimentales e híbridos testigos. Ubicación: campo experimental en Ataliva (Santa Fe).

Rendimiento de grano. Las líneas A presentaron una media de 3926,27 kg/ha, un valor mínimo de 2153,52 kg/ha y un máximo de 5497,25 kg/ha. Para las líneas R esta variable presentó un valor promedio de 3107,13 kg/ha, con un mínimo de 1097,66 kg/ha y un máximo de 5071,39 kg/ha. Los híbridos experimentales mostraron rendimientos promedios de 5025 kg/ha, con un mínimo de 1779,41 kg/ha y un máximo de 7740,05 kg/ha. Esta variabilidad entre los distintos híbridos puede observarse indirectamente por la estructura y tamaño de las distintas panojas en la Figura 2. Para los híbridos testigos la media de rendimiento fue de 5443,63 kg/ha, con un mínimo de 5273.57 kg/ha y un máximo de 5774,01 kg/ha (Figura 3, ver todos los valores en el Anexo II).

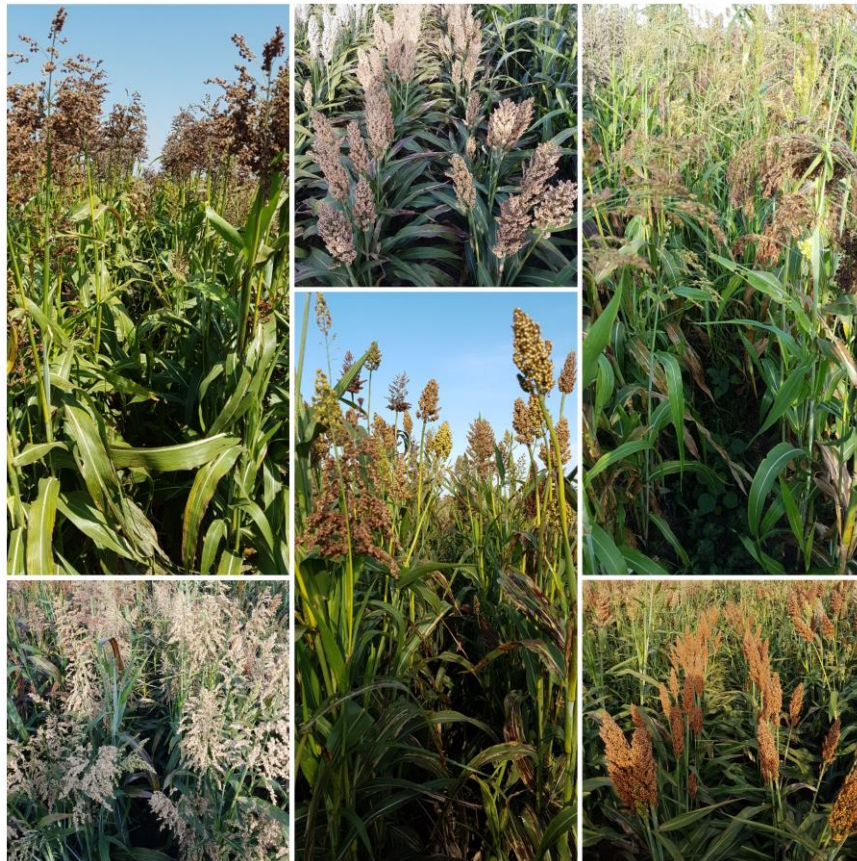


Figura 2. Fotos ilustrativas de distintos híbridos evaluados exponiendo la diversidad de fenotipos presentes en estructura y tamaño de panojas, estructura de planta, altura de planta y excursión de panoja.

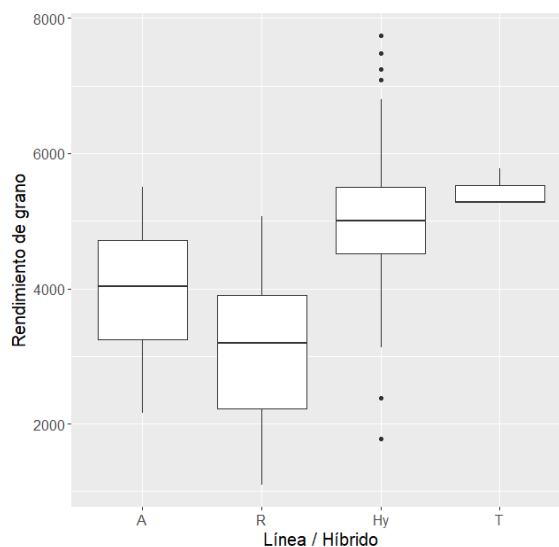


Figura 3. Gráfico de caja para la variable rendimiento de grano. *Referencias:* A, líneas androestériles; R, líneas restauradoras; Hy, híbridos; T, testigos.

El análisis de varianza muestra diferencias significativas entre los distintos genotipos para la respuesta rendimiento de grano, tanto para líneas A, líneas R como para la interacción AxR (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis de variancia del diseño CNII para la variable rendimiento de grano.

Analysis of Deviance Table (Type III Wald F tests with Kenward-Roger df)

Response: Rendimiento de grano

	F	Df	Df.res	Pr(>F)
(Intercept)	253.192	1	266	< 2.2e-16 ***
Línea A	7.057	3	264	0.0001401 ***
Línea R	16.772	37	264	< 2.2e-16 ***
Línea A : Línea R	10.886	92	264	< 2.2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Días a floración (DAF). Las líneas A mostraron una media de DAF de 65,75 días, con un mínimo de 62,67 días y un máximo de 69 días. En las líneas R el promedio de DAF fue de 62,98 días, la mínima registrada fue de 54 días y la máxima de 79,67 días. Para los híbridos experimentales, la media de DAF fue de 61,11 días, la mínima de 53 días y la máxima de 75 días. Los testigos presentaron un promedio de 59,56 días a floración, una mínima de 58 días y una máxima de 60,33 días (Figura 4, ver todos los valores en el Anexo II).

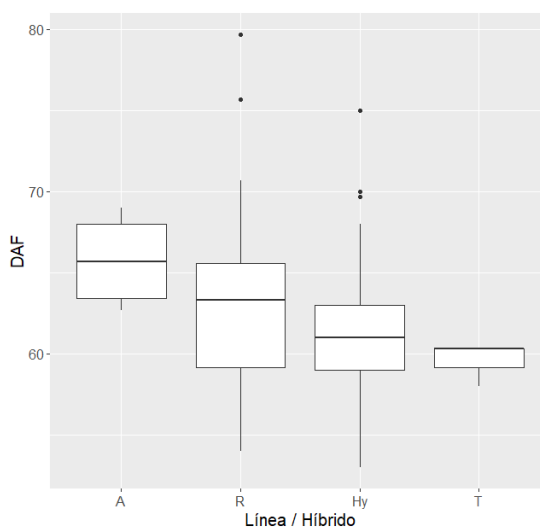


Figura 4. Gráfico de caja para la variable días a floración. *Referencias:* DAF, días a floración; A, líneas androestériles; R, líneas restauradoras; Hy, híbridos; T, testigos.

El análisis de varianza para días de floración muestra diferencias significativas entre las líneas R y para las interacciones AxR (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis de variancia del diseño CNII para la variable días a floración.

Analysis of Deviance Table (Type III Wald F tests with Kenward-Roger df)

Response: Días a floración

	F	Df	Df.res	Pr(>F)
(Intercept)	2187.000	1	244.25	< 2.2e-16 ***
Línea A	0.813	3	264.00	0.4877558
Línea R	7.899	37	264.00	< 2.2e-16 ***
Línea A : Línea R	1.799	92	264.00	0.0001587 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Altura de planta. Las líneas A mostraron valores medios de 122,67 cm para esta variable y valores mínimos y máximos de 110 cm y 141 cm respectivamente. El promedio de la altura para las líneas R fue de 173,97 cm, encontrándose valores de 110,67 cm de mínimo y 215 cm de máximo. Para los híbridos experimentales, la altura media fue de 171,24 cm con una altura mínima de 40 cm y una altura máxima de 214 cm. Esta variabilidad entre los distintos híbridos puede observarse en la Figura 2. Para los testigos, el promedio fue de 148,11 cm, el valor mínimo de 139,67 cm y el valor máximo de 155 cm (Figura 5, ver todos los valores en el Anexo II).

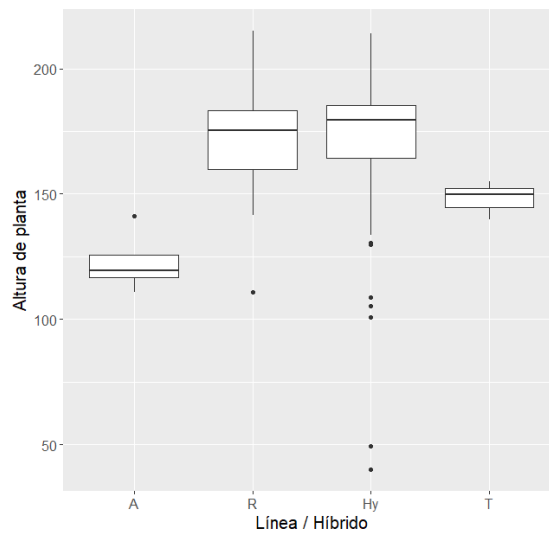


Figura 5. Gráfico de caja para la variable altura de planta. *Referencias:* A, líneas androestériles; R, líneas restauradoras; Hy, híbridos; T, testigos.

El análisis de varianza para altura de planta muestra diferencias significativas entre los distintos genotipos, tanto para líneas A, líneas R como para la interacción AxR (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis de variancia del diseño CNII para la variable altura de planta.

Analysis of Deviance Table (Type III Wald F tests with Kenward-Roger df)

Response: Altura de planta

	F	Df	Df.res	Pr(>F)
(Intercept)	6075.000	1	244.25	< 2.2e-16 ***
Línea A	10.427	3	264.00	1.661e-06 ***
Línea R	66.444	37	264.00	< 2.2e-16 ***
Línea A : Línea R	47.993	92	264.00	< 2.2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Excursión de panoja. Las líneas A mostraron un valor medio de 5,84 cm, un valor mínimo de 3,67 cm y máximo de 7 cm. Para las líneas R el promedio fue de 9,54 cm, con un valor mínimo de 3 cm y un máximo de 21,67 cm. Para los híbridos experimentales la excursión promedio fue de 10,8 cm, con un valor mínimo de 2,33 cm y un máximo de 27 cm. Esta variabilidad entre los distintos híbridos puede observarse en la Figura 2. Para los híbridos testigos se observaron valores medios de 7,11 cm, mínimo de 6,33 cm y máximo de 7,67 cm (Figura 6, ver todos los valores en el Anexo II).

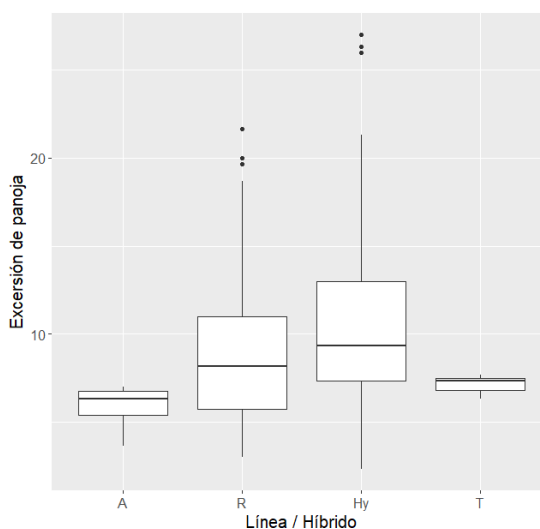


Figura 6. Gráfico de caja para la variable excursión de panoja. *Referencias:* A, líneas androestériles; R, líneas restauradoras; Hy, híbridos; T, híbridos.

El análisis de varianza para excursión de panoja muestra diferencias significativas entre los distintos genotipos, tanto para líneas A, líneas R como para la interacción AxR (Tabla 4).

Tabla 4. Análisis de variancia del diseño CNII para la variable excursión de panoja.

Analysis of Deviance Table (Type III Wald F tests with Kenward-Roger df)

Response: Excursión de panoja

	F	Df	Df.res	Pr(>F)
(Intercept)	147.000	1	244.25	< 2.2e-16 ***
Línea A	23.100	3	264.00	2.609e-13 ***
Línea R	85.646	37	264.00	< 2.2e-16 ***
Línea A : Línea R	49.404	92	264.00	< 2.2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Análisis de correlación y componentes principales

A partir de los análisis de correlación entre las variables para las líneas R se observa que existe una correlación positiva entre las variables rendimiento – DAF (0,63) y altura – excersión (0,41). A su vez, la variable rendimiento muestra correlación negativa contra las variables altura y excersión (-0,27 y -0,35 respectivamente). Por otra parte, el análisis de componentes principales corrobora estas relaciones, ya que los ángulos entre los vectores de DAF y rendimiento y entre altura y excersión son agudos, y los ángulos entre los vectores de rendimiento y excersión y altura son mayores a 90°. La componente principal 1 (CP1) explica el 45,05% de la variancia, mientras que la segunda componente principal (CP2) explica el 32,57% (Figura 7).

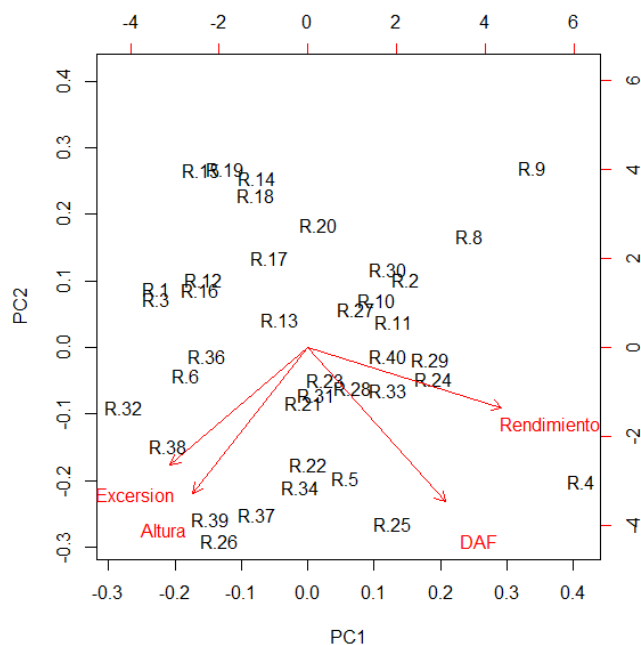


Figura 7. Biplot de Análisis de componentes principales para las líneas R.

Los análisis de correlación para las líneas A muestran una correlación positiva alta entre rendimiento y las variables altura y excersión (0,89 y 0,95 respectivamente), así también se relacionan positivamente las variables altura y excersión (0,75). Por otro lado, la variable rendimiento arroja una correlación negativa con DAF (-0,54), la variable DAF por su parte, también muestra correlación negativa con altura y excersión (-0,65 y -0,61). El análisis de componentes principales muestra esta relación entre las variables al ver los ángulos que forman los vectores de cada una. La CP 1 explica el 72,15% de la variancia y la CP 2 el 16,19% (Figura 8).

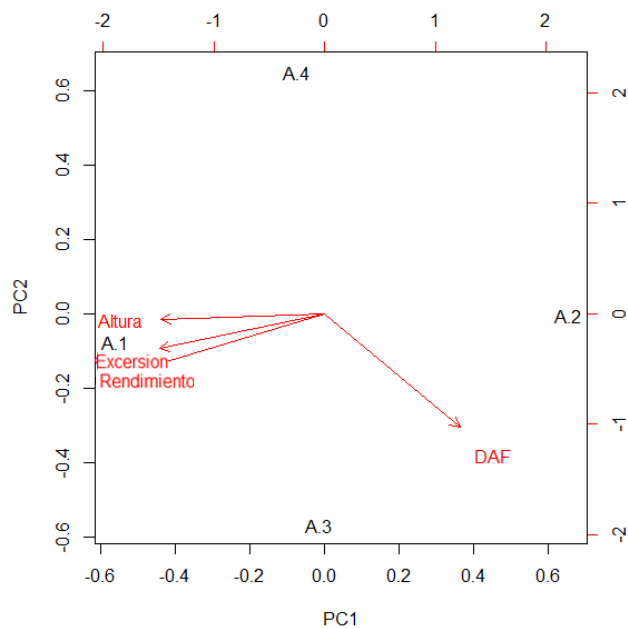


Figura 8. Biplot de Análisis de componentes principales para las líneas A.

Para los híbridos AxR las correlaciones son débiles. Sin embargo, se destaca las correlaciones positivas entre rendimiento - DAF (0,30%) y altura - excersión (0,33%). Mediante el análisis de componentes principales se corrobora la relación entre las variables rendimiento - floración y altura - excersión. La CP 1 explica el 36,24% de la variación y la CP 2 el 29,9% (Figura 9).

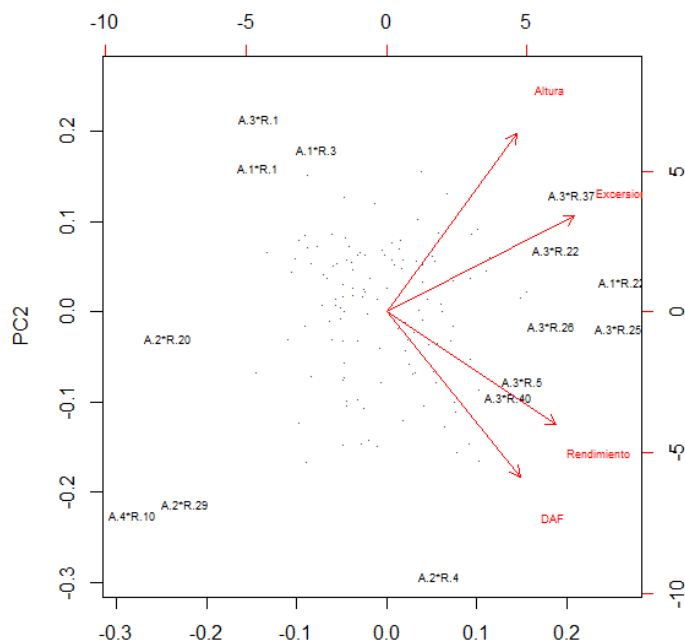


Figura 9. Biplot de Análisis de componentes principales para los híbridos AxR.

Heterosis respecto al padre superior

La heterosis se calculó para la variable rendimiento respecto al padre superior, esta estuvo comprendida en un rango desde $-46,52\%$ hasta $164,95\%$, arrojando valores en su mayoría positivos. Los valores más altos se observan en los cruzamientos A.4 x R.2 ($54,77\%$), A.2 x R.6 ($164,95\%$), A.2 x R.16 ($112,87\%$), A.2 x R.19 ($120,34\%$), A.2 x R.21 ($93,03\%$), A.3 x R.25 ($62,99\%$), A.4 x R.25 ($63,80\%$), A.3 x R.26 ($74,03\%$), A.2 x R.27 ($59,88\%$) A.4 x R.27 ($68,97\%$), A.2 x R.36 ($110,97\%$), A.2 x R.37 ($52,05\%$), A.4 x R.39 ($96,66\%$) y A.3 x R.40 ($68,21\%$) (Tabla 5).

Tabla 5. Heterosis respecto al padre superior para la variable rendimiento de grano. Referencia. A, líneas androestériles; HMP, heterosis respecto al mejor padre; R, líneas restauradoras. Las unidades se expresan en porcentaje y con áreas proporcionales en rojo valores negativos, en azul positivos.

(HMP)	A.1	A.2	A.3	A.4
R.1	-37,17		-46,52	
R.2	20,18	30,08	44,45	54,77
R.3	-28,51		-17,34	0,86
R.4	-6,35	6,94	9,82	21,60
R.5	21,84	23,92	35,64	44,98
R.6	-4,69	164,95	20,58	39,86
R.8	6,65	24,41	9,12	27,87
R.9	6,00	13,58	19,49	10,67
R.10	-9,73	31,31	12,03	-1,05
R.11	10,23	47,80	38,30	47,37
R.12	-19,04		-6,22	5,88
R.13	-8,67	43,82	12,63	47,21
R.14	-10,65		11,46	47,65
R.15	-12,87		8,82	11,30
R.16	-1,33	112,87		39,30
R.17	-24,11		4,41	
R.18	-16,26		9,08	41,11
R.19	-30,78	120,34	-5,26	32,54
R.20	-17,74	-42,56	21,79	42,60
R.21	-16,53	93,03	3,37	
R.22	23,55		33,43	40,84
R.23	-15,88		6,50	22,80
R.24	3,75	12,53	19,18	24,46
R.25	8,83	49,89	62,99	63,80
R.26	-4,35	-5,44	74,03	22,26
R.27	0,13	59,88	14,01	68,97
R.28	2,92	1,70	15,01	35,32
R.29	-4,21	-17,93	49,17	8,80
R.30	-2,55		43,30	24,77
R.31	-2,70	7,89	11,12	33,32
R.32	-15,09		-0,91	28,00
R.33	-0,74	-20,21	1,29	-3,47
R.34	-2,83		5,57	17,44
R.36	-40,50	110,97	-29,53	-10,99
R.37	21,12	52,05	12,95	36,56
R.38	-18,48	42,28	-10,22	
R.39	3,55		-2,69	96,66
R.40	23,75		68,21	21,02

Heterosis respecto al testigo de mayor rendimiento

La heterosis con respecto al testigo de mayor rendimiento (Testigo 2) estuvo comprendida en un rango desde -69,18% hasta 34,05%, arrojando valores en su mayoría negativos. Los mayores valores de heterosis los presentan los cruzamientos A.1 x R.2 (14,42%), A.3 x R.2 (11,27%), A.1 x R.5 (16%), A.1 x R.22 (17,63%), A.3 x R.25 (25,55%), A.3 x R.26 (34,05%), A.3 x R.29 (17,36%), A.3 x R.30 (10,38%), A.1 x R.37 (15,31%), A.4 x R.39 (22,84%), A.1 x R.40 (17,82%) y A.3 x R.40 (29,57%) (Tabla 6).

Tabla 6. Heterosis respecto mejor testigo para la variable rendimiento de grano. *Referencia.* A, líneas androestériles; HT, heterosis respecto al mejor testigo; R, líneas restauradoras. Las unidades se expresan en porcentaje.

(HT)	A.1	A.2	A.3	A.4
R.1	-40,18		-58,81	
R.2	14,42	-7,57	11,27	9,98
R.3	-31,94		-36,33	-37,00
R.4	-10,84	-6,07	-3,55	6,80
R.5	16,00	-14,93	4,48	-0,46
R.6	-9,26	-1,18	-7,12	-12,64
R.8	1,53	-7,22	-15,95	-4,64
R.9	0,92	-11,54	-6,94	-13,81
R.10	-14,06	-4,69	-13,70	-28,13
R.11	4,95	5,22	6,53	4,91
R.12	-22,92		-27,75	-33,85
R.13	-13,05	-22,25	-13,24	-8,05
R.14	-14,94		-14,14	-7,77
R.15	-17,04		-16,13	-30,43
R.16	-6,05	-20,61		-12,99
R.17	-27,75		-19,57	
R.18	-20,27		-15,93	-11,85
R.19	-34,10	-17,82	-27,02	-17,21
R.20	-21,69	-69,18	-6,19	-10,93
R.21	-20,53	2,82	-20,33	
R.22	17,63		2,78	-12,02
R.23	-19,91		-17,95	-21,61
R.24	-1,22	-27,19	-8,20	-19,47
R.25	3,62	-10,63	25,55	2,32
R.26	-8,94	-39,48	34,05	-21,75
R.27	-4,67	-10,71	-12,18	5,55
R.28	-2,01	-37,08	-11,41	-15,47
R.29	-8,80	-35,43	17,36	-14,40
R.30	-7,22		10,38	-22,07
R.31	-7,36	-34,37	-14,41	-16,72
R.32	-19,15		-23,67	-20,04
R.33	-5,50	-43,61	-21,98	-31,73
R.34	-7,43		-18,63	-26,64
R.36	-43,35	-21,31	-45,72	-44,40
R.37	15,31	-16,71	-12,99	-14,70
R.38	-22,39	-31,54	-30,84	
R.39	-1,42		-25,05	22,84
R.40	17,82		29,57	-7,78

Aptitud combinatoria general

Al analizar los valores de ACG de las líneas R para la variable rendimiento de grano, podemos notar que ocho líneas presentan diferencias significativas en cuanto a sus valores de ACG, dentro de las cuales tres de ellas toman valores negativos: R.1 (-1380,91), R.36 (-1081,17) y R.3 (-937,57). Por otro lado, cinco líneas R presentan valores positivos de ACG: R.5 (685,01), R.25 (859,18), R.11 (867,35), R.2 (939,15) y R.40 (1041,54) (Figura 10, ver todos los valores en el Anexo III).

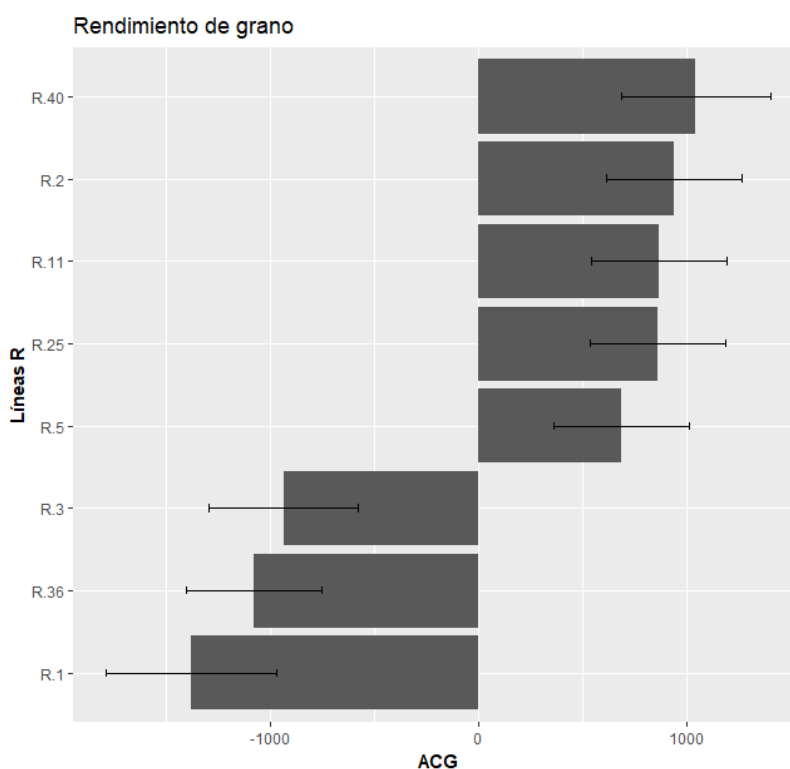


Figura 10. Aptitud combinatoria general de las líneas R que mostraron diferencias significativas para la variable rendimiento de grano.

Para la variable DAF, un total de 18 líneas R presentaron diferencias significativas para el aporte de ACG, diez de ellas mostraron valores negativos: R.1 (-5,99), R.3 (-5,04), R.17 (-2,53), R.14 (-2,53), R.20 (-2,4), R.16 (-2,24), R.18 (-2,22), R.12 (-2,12), R.32 (-1,82) y R.6 (-1,78). Por su parte, las líneas que mostraron valores positivos de ACG fueron: R.25 (1,78), R.34 (2,21), R.11 (2,32), R.8 (2,55), R.22 (2,71), R.24 (3,09), R.5 (3,56) y R.4 (8,66) (Figura 11, ver todos los valores en el Anexo IV).

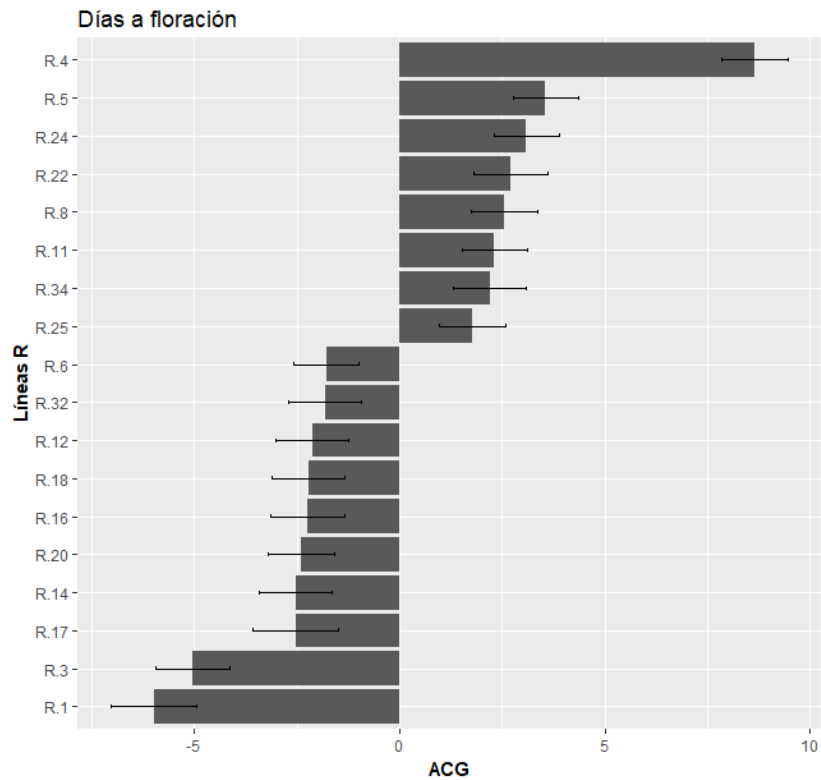


Figura 11. Aptitud combinatoria general de las líneas R que mostraron diferencias significativas para la variable días a floración.

Para la variable altura de planta, diez líneas R presentaron valores de ACG con diferencias significativas, dentro de estas ocho presentaron valores negativos: R.10 (-43,85), R.29 (-36,97), R.24 (-34,49), R.8 (-28,39), R.9 (-27,40), R.23 (-25,17), R.4 (-18,32) y R.20 (-17,4). Las dos restantes mostraron valores positivos: R.22 (20,13) y R.37 (22,52) (Figura 12, ver todos los valores en el Anexo V).

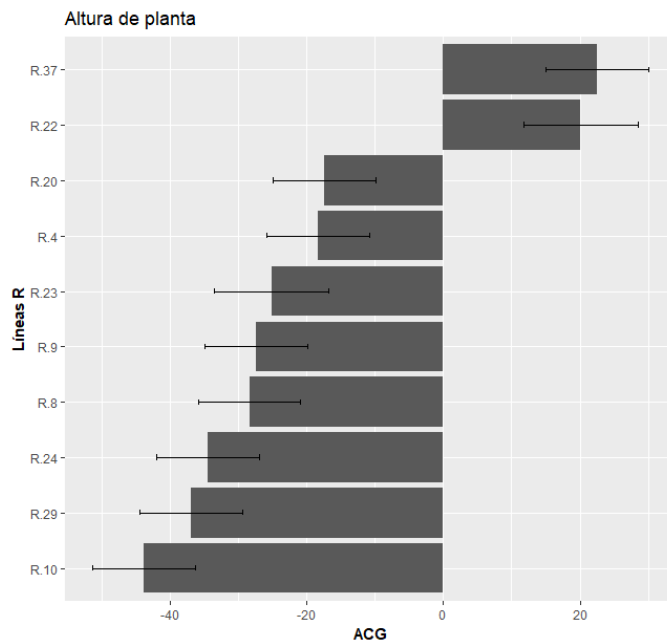


Figura 12. Aptitud combinatoria general de las líneas R que mostraron diferencias significativas para la variable altura de planta.

Para la variable excersión de panoja, cuatro líneas R presentaron diferencias significativas para el aporte de ACG, todas ellas con valores positivos: R.19 (3,44), R.22 (4,1), R.25 (4,65) y R.37 (5,39) (Figura 13, ver todos los valores en el Anexo VI).

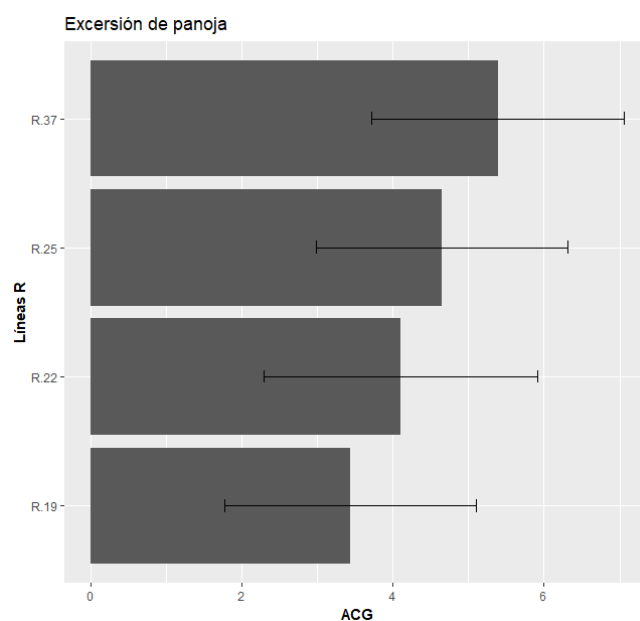


Figura 13. Aptitud combinatoria general de las líneas R que mostraron diferencias significativas para la variable excersión de panoja.

Por último, al calcular la ACG para las líneas androestériles (A.1, A.2, A.3 y A.4) no se observaron diferencias significativas para ninguna de las cuatro variables estudiadas (ver los valores obtenidos en el Anexo VII).

Aptitud combinatoria específica

La ACE calculada para la variable rendimiento de grano muestra un total de 25 combinaciones AxR con diferencias significativas. Diez cruzas presentaron valores negativos de ACE: A.2 x R.20 (-2054,08), A.3 x R.1 (-1234,06), A.2 x R.26 (-1216,62), A.3 x R.39 (-1127,17), A.2 x R.29 (-952,36), A.1 x R.19 (-848), A.3 x R.36 (-819,65), A.2 x R.28 (-790,57), A.2 x R.33 (-763,06) y A.1 x R.36 (-744,74). Las otras 15 cruzas mostraron valores significativos y positivos: A.1 x R.33 (720,85), A.2 x R.6 (734,48), A.1 x R.5 (765,2), A.3 x R.20 (785,6), A.2 x R.10 (856,08), A.1 x R.22 (914,47), A.3 x R.30 (922,42), A.2 x R.36 (928,9), A.1 x R.37 (1072,41), A.3 x R.25 (1157,68), A.2 x R.21 (1162,85), A.3 x R.40 (1203,04), A.3 x R.29 (1352,06), A.4 x R.39 (1566,59) y A.3 x R.26 (2176,4) (Figura 14, ver todos los valores en el Anexo VIII).

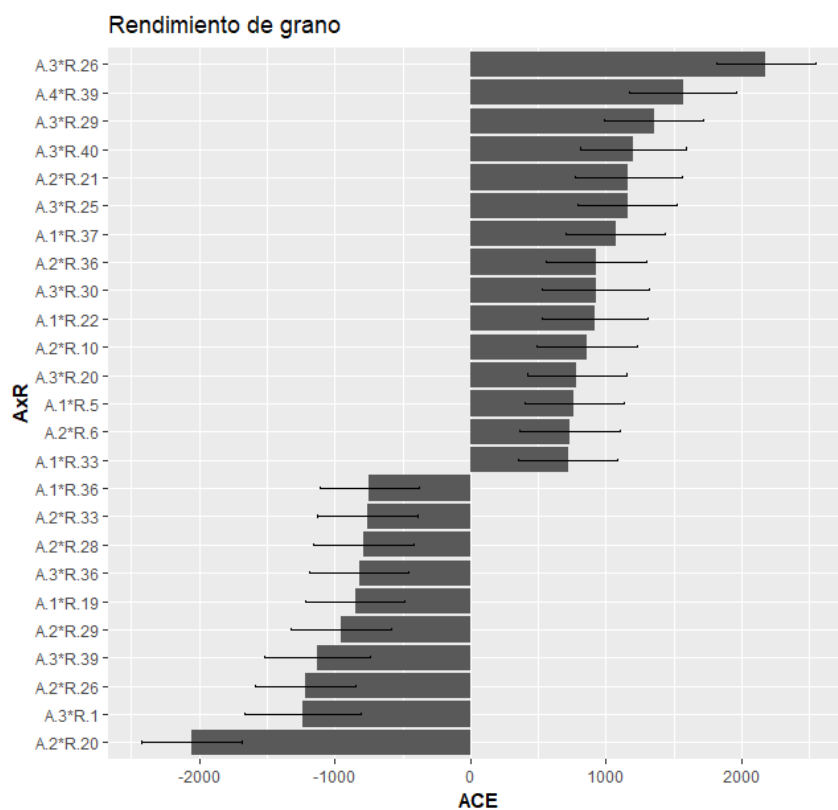


Figura 14. Aptitud combinatoria específica de los híbridos AxR que mostraron diferencias significativas para la variable rendimiento de grano.

Para la variable DAF, 16 combinaciones AxR presentaron diferencias significativas para el aporte de ACE, nueve negativas: A.1 x R.24 (-3), A.3 x R.18 (-2,42), A.1 x R.28 (-2,34), A.4 x R.37 (-2,26), A.2 x R.6 (-1,97), A.1 x R.20 (-1,96), A.2 x R.38 (-1,92), A.3 x R.13 (-1,67) y A.4 x R.4 (-1.65). Mientras que siete combinaciones mostraron ACE significativa y positiva: A.3 x R.9 (1,63), A.3 x R.8 (1,67), A.3 x R.5 (1,96), A.3 x R.24 (2,67), A.2 x R.2 (2,69), A.4 x R.28 (3,1) y A.2 x R.4 (3,61) (Figura 15, ver todos los valores en el Anexo IX).

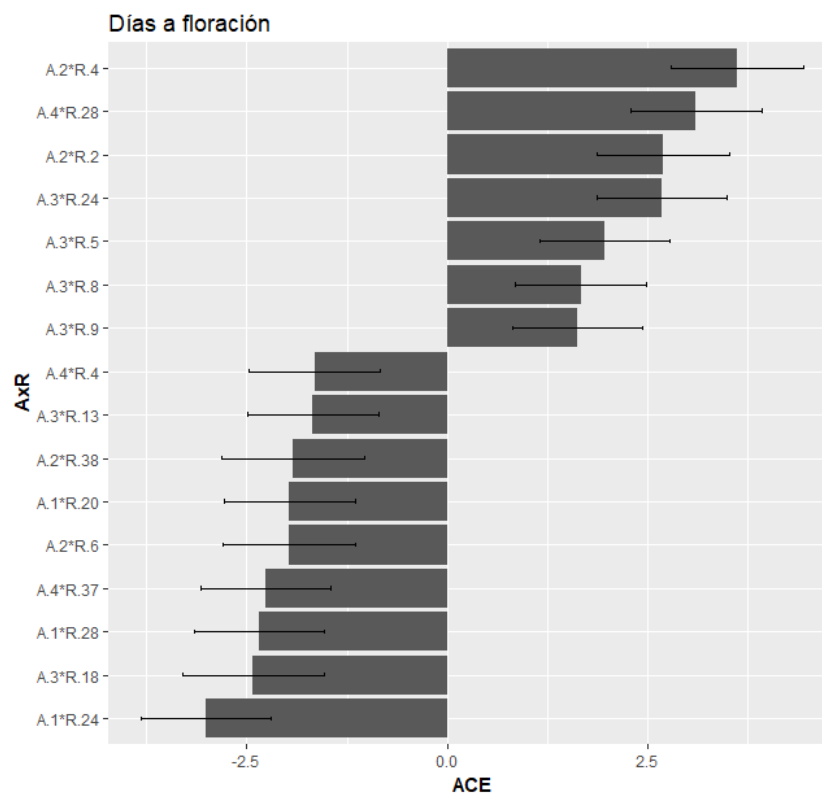


Figura 15. Aptitud combinatoria específica de los híbridos AxR que mostraron diferencias significativas para la variable días a floración.

Para la variable altura de planta, 12 combinaciones AxR presentaron valores de ACE con diferencias significativas, dentro de estas seis presentaron valores negativos: A.4 x R.10 (-83,21), A.2 x R.29 (-81,1), A.4 x R.23 (-41,3), A.1 x R.24 (-29,57), A.4 x R.24 (-27,4) y A.2 x R.20 (-20,5). Mientras que otras seis presentaron valores positivos de ACE: A.3 x R.24 (15,41), A.2 x R.24 (17,46), A.3 x R.29 (17,88), A.3 x R.10 (19,42), A.2 x R.10 (21,14) y A.1 x R.29 (22,75) (Figura 16, ver todos los valores en el Anexo X).

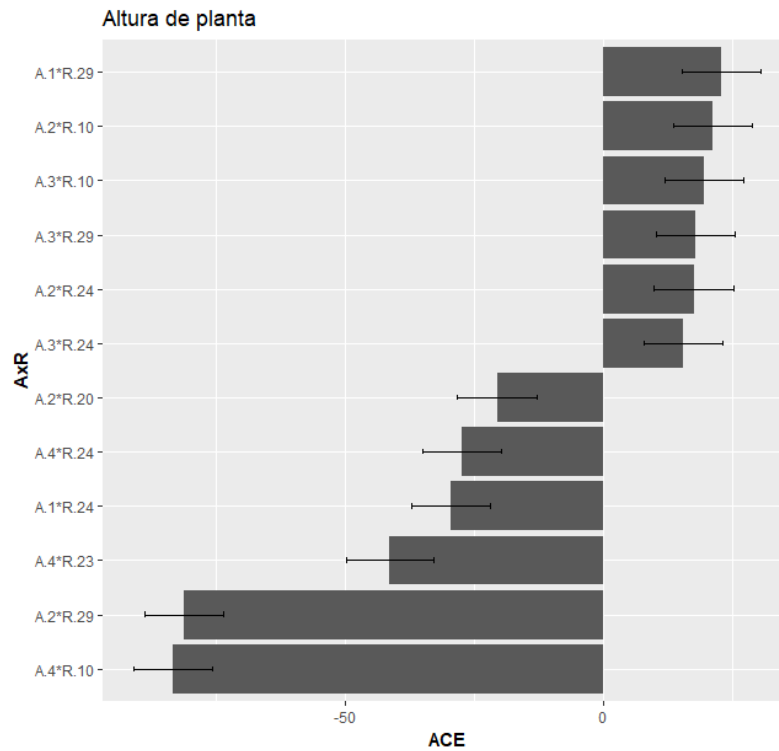


Figura 16. Aptitud combinatoria específica de los híbridos AxR que mostraron diferencias significativas para la variable altura de planta

Por último, para la variable excersión de panoja, 34 cruzas resultaron con valores de ACE significativos, dentro de las cuales 16 mostraron valores negativos: A.4 x R.22 (-7,44), A.3 x R.36 (-6,32), A.2 x R.25 (-5,95), A.4 x R.19 (-5,49), A.4 x R.26 (-5,18), A.3 x R.18 (-5,14), A.3 x R.31 (-5,13), A.2 x R.4 (-4,83), A.4 x R.10 (-4,8), A.3 x R.3 (-4,76), A.2 x R.27 (-4,74), A.1 x R.16 (-4,66), A.1 x R.32 (-4,6), A.1 x R.28 (-4,11), A.2 x R.20 (-4,03) y A.1 x R.30 (-3,91). Por otra parte, 18 combinaciones resultaron con valores positivos: A.4 x R.13 (3,61), A.1 x R.26 (3,99), A.4 x R.32 (4,49), A.3 x R.26 (4,6), A.1 x R.19 (4,99), A.3 x R.22 (5,27), A.4 x R.25 (5,4), A.3 x R.21 (5,47), A.4 x R.30 (5,84), A.1 x R.38 (6,26), A.3 x R.23 (7,32), A.1 x R.36 (7,76), A.2 x R.19 (7,97), A.1 x R.24 (9,1), A.3 x R.37 (9,23), A.3 x R.27 (9,53), A.3 x R.25 (9,63) y A.1 x R.22 (11,52) (Figura 17, ver todos los valores en el Anexo XI).

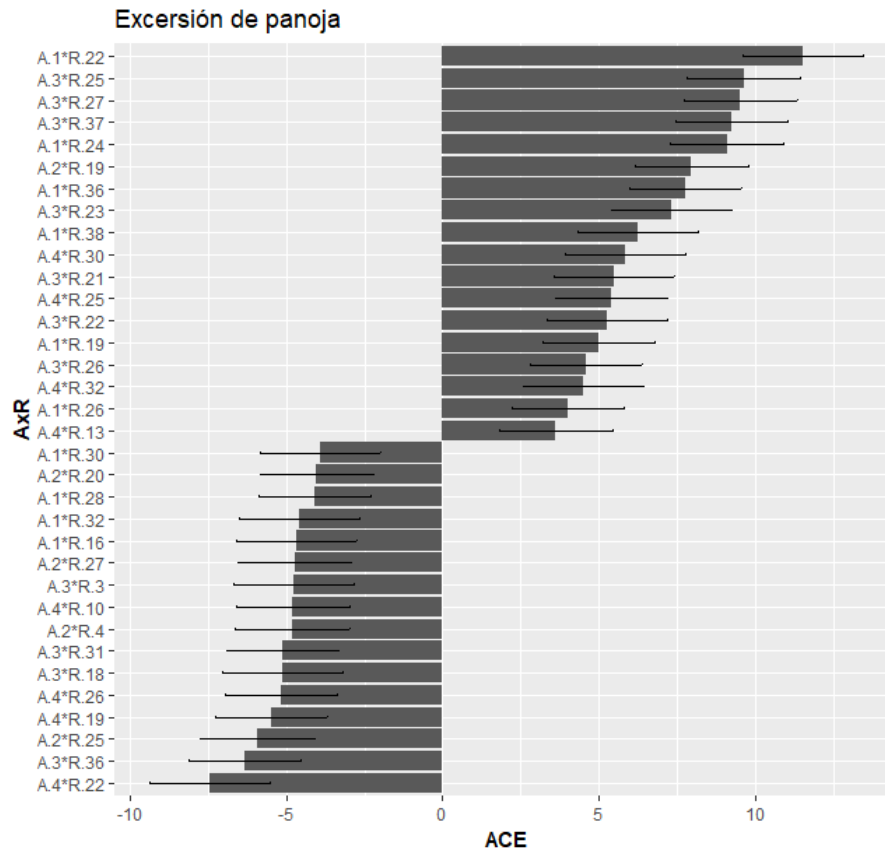


Figura 17. Aptitud combinatoria específica de los híbridos AxR que mostraron diferencias significativas para la variable excursión de panoja.

Modelo de regresión en sitios

Para la interpretación de las aptitudes combinatorias en el análisis del modelo de regresión en sitios (SREG) se siguió lo sugerido por Yan y Hunt (2002). En el presente estudio este análisis fue realizado para los materiales que produjeron cruzamientos efectivos en todas sus combinaciones.

El biplot para la variable rendimiento de grano explicó el 80,7% de la variancia total (55,66% y 25,04% por los CP1 y CP2 respectivamente).

Los efectos de ACG de las líneas R son aproximados por su proyección sobre el eje de abscisas del probador medio (PM) (Figura 18). Se puede observar el siguiente ranking: R.2 > R.11 ≈ R.25 > R.5 > R.4 > R.27 > R.37 ≈ R.8 ≈ R.9 ≈ R.6 > R.26 ≈ R.29 > R.13 ≈ R.24 > R.28 > R.10 ≈ R.31 > R.20 ≈ R.19 ≈ R.33 > R.36. Estos valores se corresponden perfectamente con los resultados de los valores de ACG presentados en el Anexo III.

Por otro lado, la ACE puede ser estimada por la proyección de las líneas R sobre la ordenada del PM, donde a mayor longitud de la proyección, mayor efecto de ACE con las líneas A que están en el mismo cuadrante del biplot. Así, las líneas R.26, R.20, R.29 y R.25 mostraron altos efectos de ACE interactuando positivamente con la línea A.3 y negativamente con la línea A2. A su vez, las líneas R.36, R.19, R.6 y R.10 presentaron efectos positivos de ACE con la línea A.2 y negativos con la línea A.3 (Figura 18). Estas estimaciones también confirman los resultados obtenidos en los análisis de ACE (Anexo VIII).

De esta manera se pueden observar la conformación de dos grupos heteróticos, por un lado, un grupo conformado por las líneas R.26, R.20, R.29 y R.25; y otro conformado por las líneas R.36, R.19, R.6 y R.10. Las líneas localizadas cerca de la abscisa del PM no parecerían pertenecer a ninguno de los grupos.

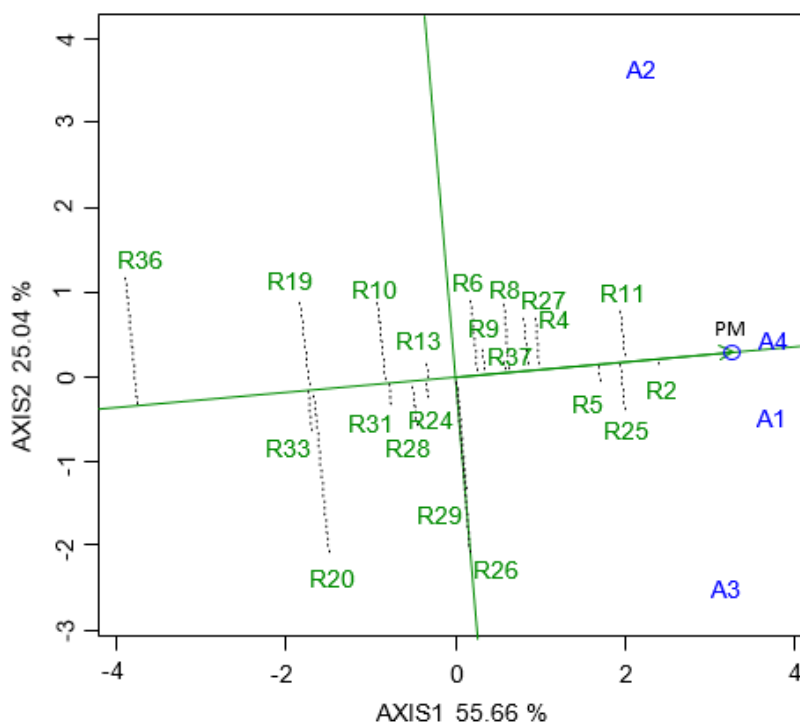


Figura 18. Biplot SREG para la variable rendimiento de grano. *Referencias:* PM, probador medio.

Para la variable días a floración el biplot explicó el 87,27% de la variancia total (77,15% y 10,13% por los CP1 y CP2 respectivamente).

Los efectos de ACG de las líneas R analizados por su proyección sobre el eje de abscisas del PM presentaron el siguiente ranking: R.4 > R.5 > R.24 > R.8 ≈ R.11 > R.25 ≈

$R.27 > R.37 > R.9 > R.19 > R.33 \approx R.31 > R.10 \approx R.29 \approx R.36 > R.2 > R.26 \approx R.28 > R.6 \approx R.13 > R.20$ (Figura 19). Estos valores se corresponden perfectamente con los resultados obtenidos en el análisis de ACG presentados en el Anexo IV.

Por otro lado, la ACE estimada por la proyección de las líneas sobre la ordenada del PM, muestra que las líneas R.6, R.36 y R.9 mostraron efectos de ACE interactuando positivamente con la línea A.1 y A.3, y negativamente con A.2. A su vez, las líneas R.2, R.20, R.28, R.24 y R.4 presentaron efectos positivos de ACE con la línea A.2 y A.4, y negativos con A.1 (Figura 19). Estas estimaciones son consistentes con los resultados obtenidos en los análisis de ACE (Anexo IX).

Es posible de esta manera, detectar la formación de dos grupos heteróticos, por un lado, un grupo conformado por las líneas R.6, R.36 y R.9; y otro conformado por las líneas R.2, R.20, R.28, R.24 y R.4. Las líneas localizadas cerca de la abscisa del PM no parecerían pertenecer a ninguno de los grupos.

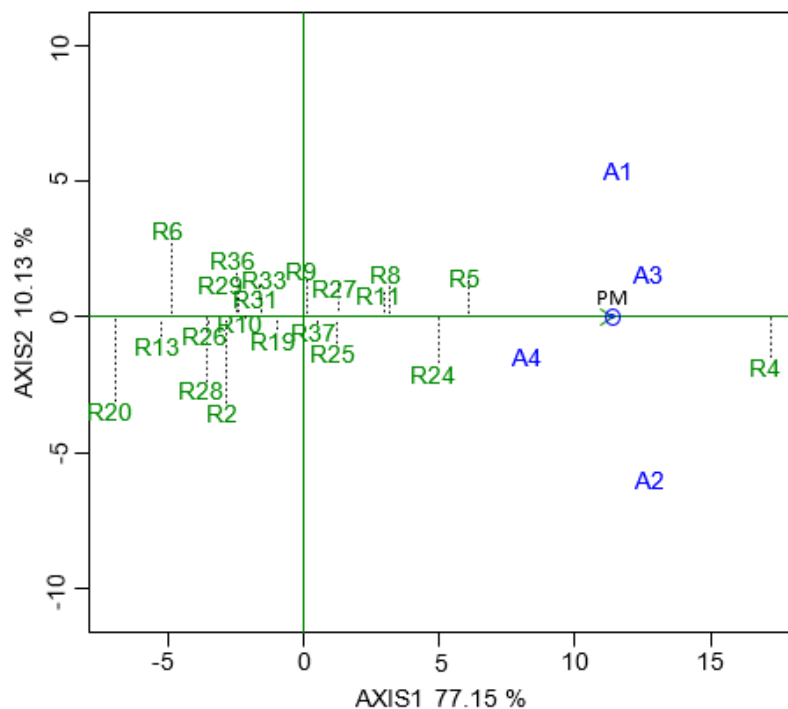


Figura 19. Biplot SREG para la variable días a floración. Referencias: PM, probador medio.

Para la variable altura de planta el biplot explicó el 92,15% de la variancia total (72,76% y 19,36% por los CP1 y CP2 respectivamente).

Los efectos de ACG de las líneas R analizados por su proyección sobre el eje de abscisas del PM presentaron el siguiente ranking: R.37 > R.26 ≈ R.13 > R.6 ≈ R.19 ≈ R.33 > R.36 > R.25 > R.5 ≈ R.28 ≈ R.27 > R.31 > R.2 > R.11 > R.20 ≈ R.4 > R.9 ≈ R.8 > R.24 > R.29 > R.10 (Figura 20). Estos valores se corresponden perfectamente con los resultados obtenidos en el análisis de ACG presentados en el Anexo V.

Por otro lado, la ACE estimada por la proyección de las líneas sobre la ordenada del PM, muestra que las líneas que más se destacan en cuanto a efectos positivos de ACE son R.29, R.27 y R.20, interactuando positivamente con la línea A.1 y A.4, y negativamente con A.2. A su vez, las líneas R.10, R.24 y R.19 presentaron efectos positivos de ACE con la línea A.2, y negativos con A.1 y A.4 (Figura 20). Estas estimaciones confirman los resultados obtenidos en los análisis de ACE (Anexo X).

Así mismo, es posible separar dos grupos heteróticos, por un lado, un grupo conformado por las líneas R.29, R.27 y R.20 y otro conformado por las líneas R.10, R.24 y R.19. Las líneas localizadas cerca de la abscisa del PM no parecerían pertenecer a ninguno de los grupos.

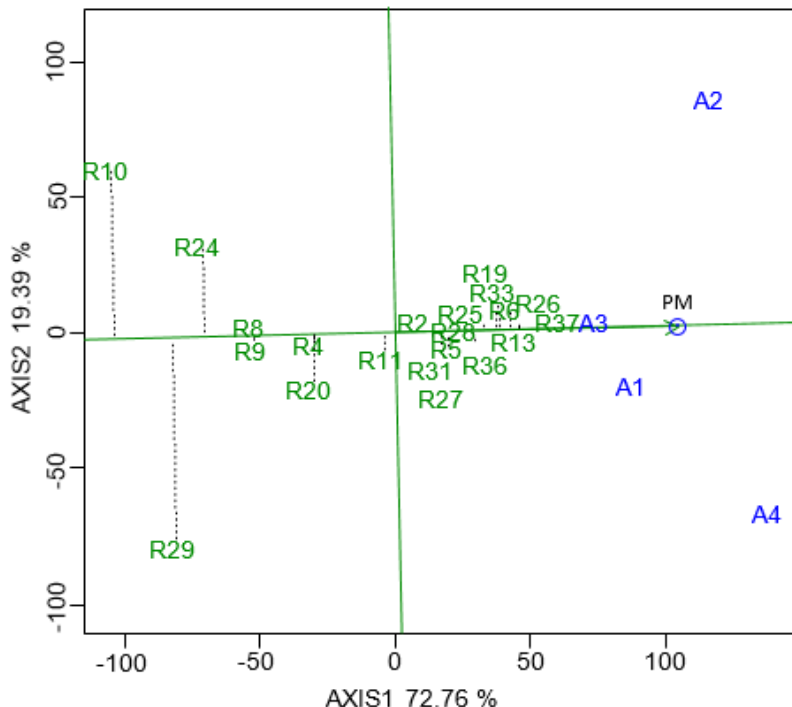


Figura 20. Biplot SREG para la variable altura de planta. Referencias: PM, probador medio.

Para la variable excersión de panoja el biplot explicó el 76,19% de la variancia total (55,07% y 21,12% por CP1 y CP2 respectivamente).

Los efectos de ACG de las líneas R analizados por su proyección sobre el eje de abscisas del PM presentaron el siguiente ranking: R.37 > R.25 > R.19 > R.36 > R.26 > R.24 ≈ R.33 > R.11 ≈ R.13 ≈ R.4 > R.27 > R.5 > R.2 > R.6 ≈ R.29 ≈ R.28 > R.31 ≈ R.20 > R.8 ≈ R.9 > R.10 (Figura 21). Estos valores se corresponden perfectamente con los resultados obtenidos en el análisis de ACG presentados en el Anexo VI.

Por otro lado, la ACE estimada por la proyección de las líneas sobre la ordenada del PM, muestra que las líneas R.36, R.19, R.24 y R.31 mostraron efectos positivos de ACE con las líneas A.1 y A.2, y negativos con A.3 y A.4. A su vez, las líneas R.27, R.25, R.37 y R.5 presentaron efectos positivos de ACE con las líneas A.3 y A.4, y negativos con A.1 y A.2 (Figura 21). Estas estimaciones son consistentes con los resultados obtenidos en los análisis de ACE (Anexo XI).

Es posible también detectar la formación de dos grupos heteróticos, por un lado, un grupo conformado por las líneas R.36, R.19, R.24 y R.31; y otro conformado por las líneas R.27, R.25, R.37 y R.5. Las líneas localizadas cerca de la abscisa del PM no parecerían pertenecer a ninguno de los grupos.

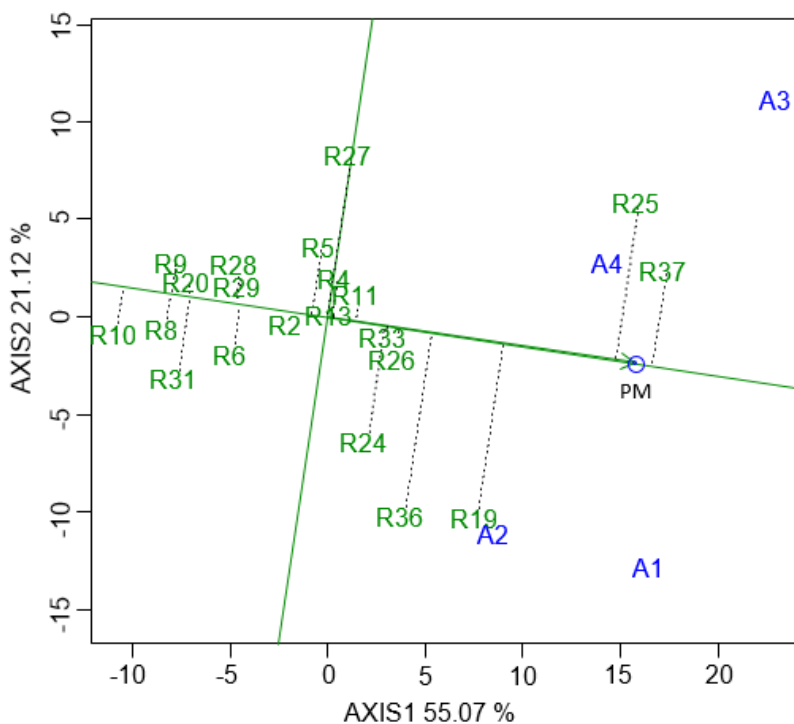


Figura 21. Biplot SREG para la variable excersión de panoja. Referencias: PM, probador medio.

En el caso de las líneas A, las proyecciones sobre el eje del PM dieron similares para todas las variables, coincidiendo esto con la falta de significancia encontrada para la fuente de variación de ACG entre líneas A para las variables (Anexo VII).

También resulta interesante analizar las líneas restauradoras y androestériles según su origen de procedencia (Figura 22).

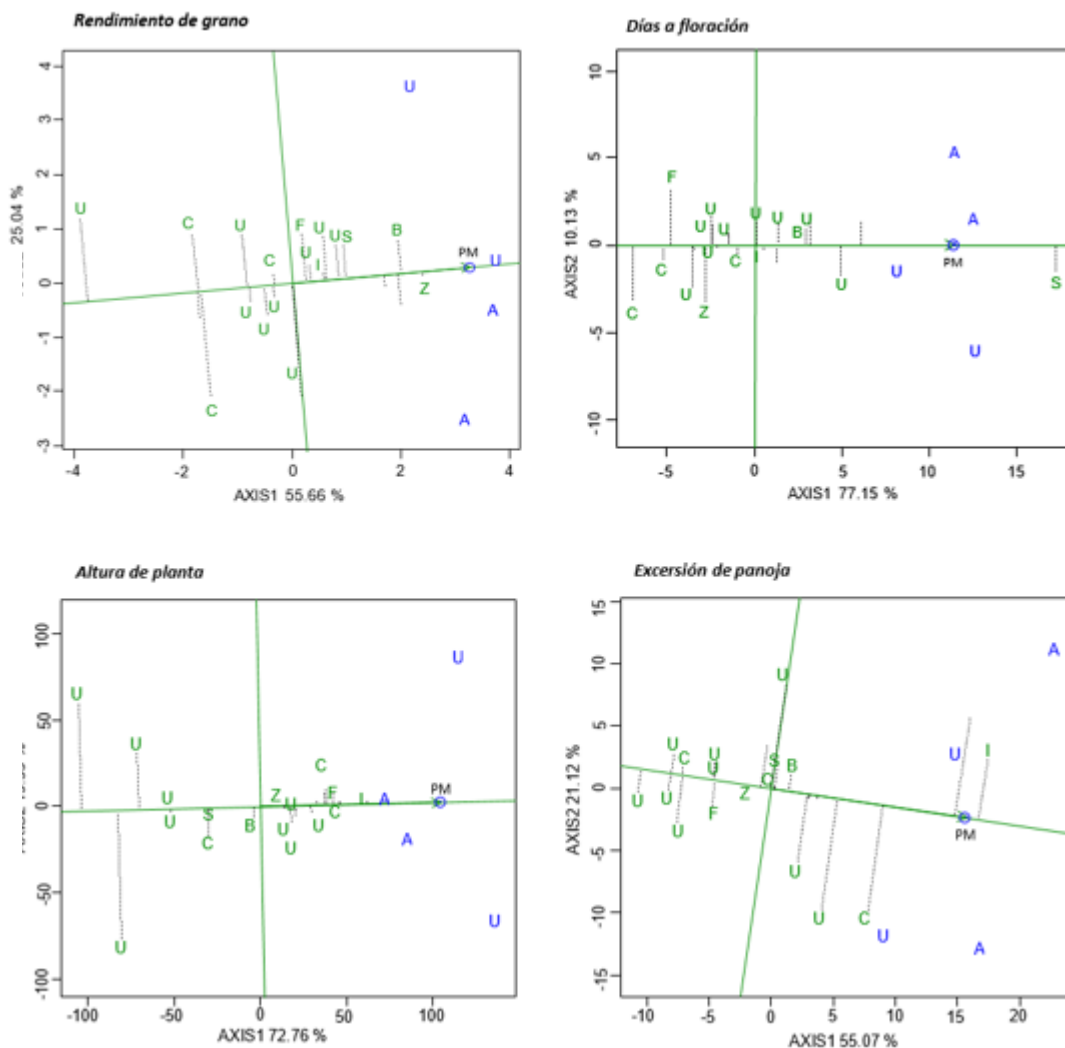


Figura 22. Biplot SREG según orígenes de las líneas restauradoras y androestériles para las cuatro variables estudiadas. *Referencias:* PM, probador medio; B, Burkina Faso (África); C, China; F, Rusia (ex Unión Soviética); I, Irán, S, Australia; U, Estados Unidos; Z, Zimbabue (África); A, Argentina.

De los gráficos anteriores puede observarse algunas particularidades. Para la variable rendimiento de grano al parecer las líneas provenientes de China son menos promisorias, en

cuanto a la ACG, que las de Estados Unidos, Australia y África, dado que sus proyecciones sobre el eje del probador medio son todas negativas. A su vez, dentro de las líneas androestériles, una estadounidense y otra argentina son las mejores en combinaciones. Para la variable días a floración se destaca una línea australiana como muy tardía y se observa que las líneas chinas, en general, son más precoces. Para la variable altura de planta, las líneas restauradoras con menor ACG correspondieron al origen estadounidense, y dentro de las líneas androestériles, las de origen argentino presentaron menos interacción que las de Estados Unidos. Respecto a la excursión de panoja, por un lado, se destaca la línea restauradora iraní con aporte positivo de ACG para el carácter, y un grupo de líneas estadounidenses, por el otro lado, con aportes negativos.

DISCUSIÓN

Medias de los genotipos

Las medias para los caracteres evaluados (rendimiento de grano, días a floración, altura de planta y excersión de panoja) presentan una amplia variación, tanto para los genotipos como para el tipo de material evaluado (líneas, híbridos experimentales e híbrido testigos).

Rendimiento de grano. Las medias de rendimiento de las líneas A presentaron en general mayores valores y una menor variabilidad en comparación con las líneas R. Esto se atribuye a que las líneas A presentaron un proceso de mejoramiento previo. Por otro lado, la alta variabilidad de alelos presentes en las líneas R, está ligado a sus diversos orígenes y su naturaleza exótica, las cuales a su vez no fueron sometidas a selección ni adaptación con fines comerciales al ambiente local. En cambio, los híbridos AxR muestran menor variabilidad en general y un claro aumento de rendimiento con respecto a las líneas (A y R) producto del vigor híbrido. Similares resultados fueron obtenidos por Kenga et al. (2005), Mahdy et al. (2011), Kumar y Chand (2015), Premalatha et al. (2006) y Jadhav y Deshmukh (2017). En cuanto a los híbridos testigos, éstos presentan muy baja variabilidad y alto rendimiento en comparación con los anteriores ya que son materiales comerciales o pre comerciales que sufrieron un proceso de mejoramiento previo.

Días a floración. Las medias de la variable días a floración de las líneas A presentaron en general una longitud de ciclo mayor que las líneas R, donde estas últimas a su vez mostraron mayor variabilidad genética. En cuanto a los híbridos podemos notar una disminución en los días a floración respecto a las líneas A y R. Esto concuerda con lo presentado por estudios de Premalatha et al. (2006) y Mahdy et al. (2011). Particularmente, para los híbridos a AxR la variabilidad fue mucho mayor, por el número de materiales evaluados y su constitución alélica, en comparación a los híbridos testigos.

Altura de planta. Para esta variable, las medias y variabilidad de las líneas A fueron visiblemente menores que para las líneas R. Por otra parte, los híbridos AxR mostraron medias de altura similares con las líneas R. Por lo contrario, estudios de El-Mottaleb y Asran (2004), Kenga et al. (2005), Premalatha et al. (2006) y Mahdy et al. (2011) encontraron un aumento en la altura de los híbridos en comparación a las líneas, mientras que, los testigos presentaron valores intermedios entre las líneas A y R.

Excursión de panoja. Las medias de excursión para las líneas A mostraron menores valores que las líneas R. A su vez, los híbridos AxR en general exhibieron valores aún más altos que las líneas, con amplia variabilidad entre genotipos. A resultados similares llegaron Tadesse et al. (2008). La media general de los testigos superó a la de las líneas A, pero no así con los híbridos estudiados.

Análisis de correlación y componentes principales

Líneas R. Las correlaciones entre las distintas variables estudiadas para las líneas R no están bien establecidas. Sin embargo, en ellas observamos que a medida que aumenta la longitud del ciclo tiende a aumentar el rendimiento de grano. Estos resultados concuerdan con estudios de Goud y Asawa (1978), Veerbadhiran et al. (1994) y Warkad et al. (2010), quienes encontraron correlación positiva entre las variables rendimiento de grano y días a floración. Por lo contrario, Almeida et al. (2014) y Ezeaku y Mohammed (2006) reportaron asociaciones negativas entre estas dos variables, lo cual podría deberse a que los materiales de ciclo largo incluidos en los ensayos no se han adaptado a los ambientes evaluados. A su vez, en las líneas R se puede observar que la altura se correlaciona positivamente con la excursión de la panoja. Por otro lado, se muestra una correlación negativa entre la variable rendimiento de grano y las variables altura de planta y excursión de panoja. Sin embargo, Goud y Asawa (1978), Jeyaprakash et al. (1997), Taurchi y Rezai (1997), Ezeaku y Mohammed (2006) y Mahajan et al. (2011) informaron que la altura de la planta tuvo altos y positivos coeficientes de correlación con el peso de la panícula y el rendimiento de grano. Entre las líneas R estudiadas las variables días a floración y altura de planta no presentan una correlación positiva fuerte. De lo contrario, Warkad et al. (2010) encontraron que el número de días a floración estuvo positiva y significativamente asociado la altura de la planta. A pesar de estas relaciones, es posible encontrar altos rendimientos en ciclo cortos y mayor excursión en alturas bajas ya que estas variables en este estudio particular no están fuertemente correlacionadas.

Líneas A. En estas líneas las relaciones observadas entre las variables siempre fueron fuertes. Se observó que las variables rendimiento de grano, altura de planta y excursión de panoja se encuentran correlacionadas positivamente, lo cual concuerda con lo expuesto por Goud y Asawa (1978), Jeyaprakash et al. (1997), Taurchi y Rezai (1997), Ezeaku y Mohammed (2006) y Mahajan et al. (2011). Mientras que la variable días a floración se

correlaciona negativamente con las anteriores. Esto es producto de los procesos de selección y mejoramiento previos que presentan estas líneas elite.

Híbridos AxR. Las correlaciones entre las distintas variables estudiadas no están fuertemente establecidas. Esto se podría deberse a los distintos orígenes y combinaciones alélicas presentes en los distintos genotipos evaluados. Badwal (1970) tampoco observó asociación entre el rendimiento de grano y días a floración, altura de la planta, días a madurez o peso de 100 granos.

Heterosis respecto al padre superior

Entre los distintos híbridos, obtenidos de la combinación de las líneas A y R, se encontraron valores altos de heterosis respecto al padre superior para la variable rendimiento de grano. Esto podría deberse a que, dada la divergencia genética entre los parentales, en el híbrido se produciría una acumulación tanto de acciones dominantes como loci al estado heterocigotas, condición *sine qua non* para la manifestación de la misma. Nuestros resultados concuerdan con lo observado por Beil y Atkins et al. (1967), quienes mostraron que la mayor heterosis en sorgo se observó para el rendimiento de grano, lo que sugiere que los efectos no aditivos podrían ser proporcionalmente mayores para esta variable que para cualquiera de sus componentes individuales. Así mismo, Kenga et al. (2005), Premalatha et al. (2006), Sharma y Sharma (2006), Makanda et al. (2010), Kanbar et al. (2011), Mahdy et al. (2011), Tariq et al. (2014), Rani et al. (2014), Kumar y Chand (2015) y Jadhav y Deshmukh (2017) llegaron a conclusiones similares respecto a los valores de heterosis mostrados en los materiales evaluados, observando heterosis altas y positivas para la variable rendimiento de grano. Los valores negativos de heterosis encontrados, pueden deberse a que no en todas las combinaciones se produce una de acumulación de acciones dominantes o loci al estado heterocigota, muchas veces dado por el gran distanciamiento genético entre las líneas involucradas, lo que se torna contraproducente en la manifestación del fenómeno (Moll et al., 1965). En consecuencia, resulta posible explotar la heterosis para producir híbridos superiores en rendimiento de grano. En nuestro estudio, las líneas A que más se destacaron fueron A.2, A.3 y A.4. Mientras que las líneas R que más contribuyeron a sus híbridos fueron R.2, R.6, R.16, R.19, R.21, R.25, R.26, R.27, R.36, R.37, R.39 y R.40.

Heterosis respecto al testigo de mayor rendimiento

El estudio de heterosis respecto al testigo de mayor rendimiento de grano realizado en este trabajo, mostró valores negativos en general, producto de la superioridad del material con el cual fueron comparados. La heterosis práctica no necesariamente está relacionada con la dominancia y no es útil para la clasificación del material genético. Sin embargo, en nuestro estudio toma importancia estudiarla porque podemos analizar si las líneas exóticas pueden usarse directamente como parentales. De esta forma, aquellas líneas con buena ACG y con heterosis negativa respecto al testigo tienen valor para el mejoramiento, pero deberían someterse a más procesos de selección antes de ser utilizadas como parentales. A pesar de esto, pudieron encontrarse algunas combinaciones que superaban al testigo de mayor rendimiento, cuyos parentales eran las líneas A.1, A.3 y A.4 y las líneas R.2, R.5, R.22, R.25, R.26, R.29, R.30, R.37, R.39 y R.40.

Aptitud combinatoria general y específica

Rendimiento de grano. Respecto a la aptitud combinatoria general para la variable rendimiento de grano, se encontraron líneas con valores negativos y positivos significativos. En este estudio en particular que buscamos un aporte positivo, las líneas R.5, R.25, R.11, R.2 y R.40 mostraron buen comportamiento promedio en sus combinaciones híbridas revelando un efecto aditivo de los genes involucrados. Por lo tanto, estas líneas podrían usarse como parentales para el desarrollo de nuevos híbridos teniendo en cuenta la variable en cuestión. Resultados similares obtuvieron Malm (1968), Kanawade et al. (2001), Chaudhary et al. (2006), Salini et al. (2008), Tadesse et al. (2008) y Rani et al. (2014) quienes destacan la importancia del estudio de la aptitud combinatoria general para rendimiento de grano. Por otro lado, los estudios de aptitud combinatoria específica para la variable rendimiento muestran distintas combinaciones con diferencias significativas. De este modo, entre las líneas R involucradas en las mejores combinaciones se destacan las siguientes: R.33, R.5, R.22 y R.37 en combinación con el parental A.1; R.6, R.10, R.36 y R.21 en combinación con el parental A.2; R.20, R.30, R.25, R.40, R.29 y R.26 en combinación con el parental A.3; y R.39 en combinación con el parental A.4. Estos resultados enfatizan la importancia de la acción génica no aditiva y son respaldados por trabajos anteriores de Shankaregowda et al. (1972), Iyanar et al. (2001), Kulakarni et al. (2006), Kumar y Chand (2015) y Jadhav y

Deshmukh (2017). Estos autores encontraron que el rendimiento de grano fue controlado principalmente por efectos genéticos no aditivos, destacando la mayor importancia del efecto de aptitud combinatoria específica para este carácter. Finalmente, analizando los valores de la aptitud combinatoria general y específica en conjunto, podemos destacar las líneas R.5, R.25 y R.40. Dichas líneas mostraron un gran aporte de genes tanto aditivos como no aditivos. Estudios realizados por Goud et al. (1973), Rao et al. (1982), Shahane y Bapat (1981), y Shinde y Sudewad (1981), Giriraj y Goud (1982), Badhe y Patil (1997), Biradar et al. (2000), Premalatha et al. (2006) y Akata et al. (2017) resaltan la importancia de las acciones genéticas tanto aditivas como no aditivas demostrando la importancia del estudio conjunto de aptitud combinatoria general y específica en la herencia del rendimiento de grano.

Días a floración. Respecto a la aptitud combinatoria general para la variable días a floración se encontraron, por un lado, líneas capaces de acortar los días de emergencia a floración y, por otro lado, líneas capaces de alargarlos. Uno de los objetivos de este estudio consistió en encontrar líneas capaces de acortar los días a floración, por esto se destacan las líneas R.1, R.3, R.17, R.14, R.20, R.16, R.18, R.12, R.32 y R.6, las cuales mostraron valores de aptitud combinatoria general negativos y podrían usarse como parentales para el desarrollo de nuevos híbridos. Tratándose de líneas exóticas es posible que algunas líneas sean sensibles al fotoperíodo y por lo tanto cambien mucho sus días a floración según la fecha de siembra y latitud. Diversos autores destacaron una mayor importancia de los efectos de aptitud combinatoria general para la variable DAF, en comparación con los efectos de aptitud combinatoria específica, entre ellos Shankaregouda et al. (1972), Kulakarni et al. (2006) y Mahdy et al. (2011). Por otro lado, los estudios de aptitud combinatoria específica para la variable DAF mostraron distintas combinaciones con diferencias significativas y negativas para las líneas: R.24 R.28 y R.20 en combinación con el parental A.1, R.6 y R.38 en combinación con el parental A.2; R.18 y R.13 en combinación con el parental A.3; y R.37 y R.4 en combinación con el parental A.4. Estudios realizados por Kanawade et al. (2001), Rani et al. (2014), Kumar y Chand (2015) y Jadhav y Deshmukh (2017) destacaron una mayor preponderancia de la acción génica no aditiva para la variable en cuestión. Finalmente, analizando los valores de ACG y ACE en conjunto, podemos destacar las líneas R.6, R.18 y R.20 quienes mostraron un gran aporte de genes tanto aditivos como no aditivos. Resultados similares se obtuvieron en los estudios de Can et al. (1997), Siddiqui y Baig (2001) y Akata et

al. (2017) mostrando la importancia del estudio conjunto de ACG y ACE para analizar la variable DAF.

Altura de planta. Respecto a la aptitud combinatoria general para la variable altura de planta, se encontraron líneas que tienden a reducirla y otras líneas que tienden a aumentarla. En este estudio buscamos una menor altura, por tanto, las líneas que mostraron valores de ACG negativos son R.10, R.29, R.24, R.8, R.9, R.23, R.4 y R.20. Trabajos previos de Shankaregouda et al. (1972), Badhe y Patil (1997), El-Mottaleb y Asran (2004), Tadesse et al. (2008), Mahdy et al. (2011) y Rani et al. (2014) resaltaron la importancia del estudio de la ACG por su aporte de efectos aditivos para este carácter. Por otro lado, los estudios de aptitud combinatoria específica para la variable altura de planta muestran distintas combinaciones con diferencias significativas y negativas para esta: R.24 en combinación con el parental A.1; R.29 y R.20 en combinación con el parental A.2; R.10, R.23 y R.24 en combinación con el parental A.4. En los estudios de Kanawade et al. (2001), Kulakarni et al. (2006), Kumar y Chand (2015) y Jadhav y Deshmukh (2017) se observaron igualmente importantes efectos de ACE para esta variable. Finalmente, analizando los valores de ACG y ACE en conjunto podemos destacar las líneas R.10, R.23, R.24 y R.29 quienes mostraron efectos tanto aditivos como no aditivos. Trabajos de Can et al. (1997) y Akata et al. (2017) resaltaron la importancia del estudio conjunto de las ACG y ACE en el estudio de la altura de planta.

Excursión de panoja. Para la variable excursión de panoja, las líneas R que arrojaron valores de aptitud combinatoria general significativamente positivos fueron R.19, R.22, R.25 y R.37. Resultados similares obtuvieron Tadesse et al. (2008) para las líneas femeninas y masculinas evaluadas. Por otro lado, los estudios de ACE para esta variable muestran distintas combinaciones que presentan valores positivos: R.26, R.19, R.38, R.36, R.24 y R.22 en combinación con el parental A.1; R.19 en combinación con el parental A.2; R.26, R.22, R.21, R.23, R.37, R.27 y R.25 en combinación con el parental A.3; R.13, R.32, R.25 y R.30 en combinación con el parental A.4. Finalmente, analizando valores de ACG y ACE conjuntamente podemos destacar las cuatro líneas que presentaron buena ACG (R.19, R.22, R.25 y R.37) quienes también muestran un gran aporte de genes no aditivos.

Los resultados obtenidos en nuestros estudios de aptitud combinatoria general y específica, parten de datos obtenidos de una localidad y un año de ensayo. Por lo tanto, resultaría de gran importancia en un futuro explorar las interacciones Genotipo x Ambiente

para una mejor evaluación del mérito de estas líneas respecto a su posterior incorporación en un programa de mejoramiento comercial.

Modelo de regresión en sitios

Los modelos multivariados y biplots GGE [genotipo (G) + interacción genotipo por ambiente (GxE)] son utilizados en numerosos estudios para el análisis de datos de ensayos multiambientales donde se evalúa la interacción Genotipo x Ambiente (Crossa et al., 1990; Gauch y Zobel, 1996; Yan et al., 2000). A través del modelo de regresión en sitios, se logra adaptar esta metodología para el análisis gráfico de los efectos de ACG y ACE, agrupación de genotipos similares y la posibilidad de establecer grupos heteróticos. El GGE biplot combina el efecto principal (ACG de la línea) y la interacción (ACE). De esta forma, podemos corroborar los datos obtenidos por los análisis anteriores consiguiendo estimar con alta precisión los resultados de los modelos de ACG y ACE para las líneas y combinaciones evaluadas. Por otro lado, los grupos heteróticos obtenidos gráficamente permiten, agrupar las líneas de comportamiento genéticamente similares y disponer de información para la planificación de futuros cruzamientos. Con esto se logra obtener mayores efectos heteróticos en las combinaciones de líneas pertenecientes a grupos distintos, donde de cruzamientos entre ambos grupos se esperaría una manifestación de efectos heteróticos. Estos resultados validan los análisis anteriores para todas las variables estudiadas y comprenden una buena herramienta para análisis futuros. Resultados similares obtuvieron Yan y Hunt (2002) para el análisis de cruzamientos dialélicos en trigo y maíz. Por otro lado, la relación entre diversidad genética y diversidad geográfica entre las distintas líneas no se encuentra perfectamente establecida en el presente estudio, posiblemente producto de que la muestra era pequeña para evaluar correctamente estos efectos. Así, varios genotipos de diversos orígenes geográficos se asignan a iguales grupos heteróticos. Esto concuerda con estudios en mijo perla de Rao et al. (1989) donde estudiaron la similitud entre grupos conformados por constituciones alélicas similares y concluyeron en que el origen geográfico no puede tomarse como criterio para estimar la diversidad entre caracteres. Así que cruzamientos entre líneas de diferente origen geográfico puede o no dar los resultados deseados.

Rendimiento de grano. Al analizar el GGE biplot para la variable rendimiento podemos destacar las líneas R.6, R.11, R.5, R.25 y R.26 ya que las mismas presentan un considerable aporte tanto de ACG como ACE con el probador (línea A) A.2 en el caso de las dos primeras,

y con A.3 en el resto. A su vez, analizando el ángulo que forman los probadores (líneas A) con la abscisa del PM, notamos que el probador más representativo es A.4, ya que su ubicación es muy cercana a la del probador medio, mientras que A.2 y A.3 son los menos representativos. El probador que es al mismo tiempo discriminante y representativo (A.4) es un buen probador para la selección de líneas en base a su ACG, mientras que los probadores que son discriminantes, pero no representativos (A.2 y A.3) son útiles para seleccionar líneas teniendo en cuenta su ACE. Así, A.2 sería discriminante para un grupo heterótico compuesto por las líneas destacadas R.6 y R.11, mientras que A.3 sería discriminante para otro grupo heterótico compuesto por R.5, R.25 y R.26. En cuanto a los orígenes de estas líneas destacadas, estos varían desde Rusia (ex Unión Soviética), Burkina Faso (África) y las restantes tienen orígenes desconocidos. En su estudio, Akata et al. (2017) también destacaron respuestas heteróticas en líneas provenientes de África occidental.

Días a floración. Observando el biplot para la variable días a floración podemos destacar las líneas R.20, R.6 y R.28 ya que estas presentan un considerable aporte tanto de ACG (negativo) como ACE con el probador (línea A) A.2 en el caso de R.20 y R.28 y con A.1 la línea R.6. A su vez, analizando el ángulo que forman los probadores (líneas A) con la abscisa del PM, notamos que los probadores más representativos son A.3 y A.4, mientras que A.1 y A.2 son los menos representativos. Los probadores que son al mismo tiempo discriminantes y representativos (A.3 y A.4) son buenos probadores para la selección de líneas en base a su ACG, mientras que los probadores que son discriminantes, pero no representativos (A.1 y A.2) son útiles para seleccionar líneas teniendo en cuenta su ACE. Así, A.1 sería discriminante para un grupo heterótico integrado por la línea R.6, mientras que A.2 sería discriminante para otro grupo heterótico compuesto por las líneas destacadas R.20 y R.28. Los orígenes de las líneas seleccionadas corresponden a China, Rusia y Estados Unidos. Por su parte, Akata et al. (2017) encontraron respuestas heteróticas en líneas provenientes de África occidental para la variable días a 50% de floración.

Altura de planta. Al analizar el biplot para la variable altura de planta podemos destacar las líneas R.10, R.24, R.29 y R.20 ya que las mismas presentan un considerable aporte tanto de ACG (negativo) como ACE con el probador (línea A) A.2 en el caso de las dos primeras, y con A.4 en las últimas dos. También, notamos que el probador más representativo es A.3, ya que su ubicación es muy cercana a la del probador medio, mientras que A.2 y A.4 son los

menos representativos. El probador que es al mismo tiempo discriminante y representativo (A.3) es un buen probador para la selección de líneas en base a su ACG, mientras que los probadores que son discriminantes, pero no representativos (A.2 y A.4) son útiles para seleccionar líneas teniendo en cuenta su ACE. Así, A.2 sería discriminante para un grupo heterótico compuesto por las líneas destacadas R.10 y R.24, mientras que A.3 sería discriminante para otro grupo heterótico compuesto por R.29 y R.20. Los orígenes de estas líneas destacadas corresponden a Estados Unidos y China. A su vez, Akata et al. (2017) destacaron respuestas heteróticas en líneas provenientes de África occidental para esta variable.

Excursión de panoja. Observando el biplot para la variable excursión de panoja podemos destacar las líneas R.25, R.37, R.19 y R.36 ya que las mismas presentan un considerable aporte tanto de ACG como ACE con el probador (línea A) A.3 en el caso de R.25 y R.37, y con A.1 y A.2 las líneas R.19 y R.36. A su vez, notamos que el probador más representativo es A.4, mientras que A.1, A.2 y A.3 son los menos representativos. El probador que es al mismo tiempo discriminante y representativo (A.4) es un buen probador para la selección de líneas en base a su ACG, mientras que los probadores que son discriminantes, pero no representativos (A.1, A.2 y A.3) son útiles para seleccionar líneas teniendo en cuenta su ACE. Así, A.3 sería discriminante para un grupo heterótico compuesto por las líneas R.25 y R.37, mientras que A.1 y A.2 serían discriminantes para otro grupo heterótico compuesto por R.19 y R.36. Los orígenes de estas líneas destacadas son Estados Unidos, Iran y China.

Análisis de líneas destacadas y posibles cruzamientos

Rendimiento de grano. Para esta variable, las líneas restauradoras más destacadas fueron R.5, R.6, R.25, R.26 y R.40, las cuales además de mostrar altos efectos heteróticos tanto con relación al padre superior como al mejor híbrido testigo, también presentaron valores altos de ACG y a su vez, buena ACE en cruzas con líneas A y buen desempeño en los biplot SREG. A estas líneas a su vez podemos dividir las en distintos grupos para potenciar sus efectos heteróticos. Quedarían así, dos grupos, uno compuesto por las líneas R.5, R.25, R.26 y R.40 con buena aptitud en combinaciones con el probador A.3. Por otro lado, el grupo conformado por R.6 con buena aptitud en las cruzas con A.2.

Días a floración. Para esta variable, las líneas restauradoras más importantes resultaron ser R.6, R.20 y R.28 presentando un valor alto y negativo de ACG y ACE en cruzas con líneas A y destacándose en el gráfico biplot. La línea R.6 pertenece a un grupo heterótico con buena aptitud en combinaciones con el probador A.2, mientras que las líneas R.20 y R.28 presentan buena aptitud combinatoria con el probador A.1 por lo que se esperaría buenos efectos heteróticos de su combinación.

Altura de planta. Para esta variable, las líneas más sobresalientes fueron R.10, R.24 y R.29, quienes presentaron valores altos y negativos de ACG y ACE en cruzas con líneas A y mostraron buen comportamiento en el gráfico biplot. A estas, es posible dividir las líneas en dos grupos distintos, lo cuales se conformarían con las líneas R.10 y R.24 en uno con buena aptitud combinatoria con A.4 y, por otro lado, R.29 con buena aptitud combinatoria con A.2. De estas combinaciones se esperaría efectos heteróticos favorables para esta variable.

Excursión de panoja. Para esta variable las líneas R.19, R.25, R.36 y R.37 presentaron valores altos y positivos de ACG y ACE en cruzas con líneas A y se destacaron en el gráfico biplot. Es posible establecer dos grupos heteróticos distintos, con las líneas R.25 y R.37 por un lado con buena aptitud combinatoria con el probador A.3, y las líneas R.19 y R.36 por el otro con buena aptitud combinatoria con el probador A.1.

CONCLUSIÓN

- Utilizar material exótico en diferentes estudios genéticos, constituye una herramienta muy importante a la hora de aumentar la base genética del programa y la incorporación de alelos favorables, permitiendo aprovechar la diversidad genética de los cultivos en programas de mejoramiento.

- Entre las líneas estudiadas y los híbridos obtenidos de los cruzamientos se pudo seleccionar combinaciones de buen rendimiento de grano, ciclo corto, baja altura y buena excersión.

- Las correlaciones entre las distintas variables estuvieron fuertemente establecidas en las líneas A, pero no así en las líneas R ni en los híbridos AxR.

- Los mayores valores de heterosis respecto al padre superior para la variable rendimiento de grano se obtuvieron en las líneas R.6, R.16, R.19 y R.36 cruzadas con el parental A2.

- Al evaluar la heterosis respecto al mejor híbrido testigo para la variable rendimiento de grano, se destacan las cruzas de las líneas R.25, R.26 y R.40 con el parental A.3, y el cruzamiento A.4 x R.39.

- Para la variable rendimiento de grano, las líneas restauradoras más destacadas fueron R.5, R.6, R.25, R.26 y R.40, presentando altos valores de heterosis, ACG y ACE en cruzas con líneas A.

-Se establecieron dos grupos para la variable rendimiento de grano: 1) las líneas R.5, R.25, R.26 y R.40 con buena aptitud en combinaciones con el probador A.3, y 2) las líneas R.5 y R.6 con buena aptitud en las cruzas con A.2.

- Para días a floración, las líneas R.6, R.20 y R.28 presentaron un valor alto y negativo de ACG y ACE en cruzas con líneas A.

- Se establecieron dos grupos para la variable días a floración: 1) la línea R.6 con buena aptitud en combinaciones con el probador A.2, y 2) las líneas R.20 y R.28 con buena aptitud en las cruzas con A.1.

- Para la variable altura de planta las líneas R.10, R.24 y R.29 presentaron valores altos y negativos de ACG y ACE en cruzas con líneas A.

- Se establecieron dos grupos para la variable altura de planta: 1) la línea R.29 con buena aptitud en combinaciones con el probador A.2, y 2) las líneas R.10 y R.24 con buena aptitud en las cruzas con A.1.

- Para la variable excersión de panoja, las líneas R.19, R.25, R.36 y R.37 presentaron valores altos y positivos de ACG y ACE en cruzas con líneas A.

-Se establecieron dos grupos para la variable excersión de panoja: 1) las líneas R.19 y R.36 con buena aptitud en combinaciones con el probador A.1, y 2) las líneas R.25 y 37 con buena aptitud en las cruzas con A.3.

- No se encontraron relaciones consistentes entre los orígenes geográficos de las líneas estudiadas y los aportes de ACG y ACE para los caracteres evaluados.

BIBLIOGRAFÍA

Almeida Filho, J. E. D., Tardin, F. D., Resende, M. D. V. D., Granato, Í. S. C., & Menezes, C. B. D. (2014). Genetic evaluation of grain sorghum hybrids in Brazilian environments using the REML/BLUP procedure. *Scientia Agricola* 71(2): 146-150.

Akata, E. A., Diatta, C., Faye, J. M., Diop, A., Maina, F., Sine, B. & Cisse, N. (2017). Combining ability and heterotic pattern in West African sorghum landraces. *African Crop Science Journal* 25(4): 491-508.

Badhe, P. L. and Patil, H. S. (1997). Line x Tester analysis in sorghum. *Annals of Agricultural Research* 18 (3): 281-284.

Badwal, S. S. (1970). Correlation between grain and fodder yield in jowar. *Madras Agricultural Journal* 58: 531-533.

Barberis, N. A., & Sánchez, C. (2013). Informe de cultivo de sorgo: evolución y perspectivas. Un análisis de las estadísticas, julio 2013. Cartilla digital Manfredi, 6.

Bartel, A. T. (1949). Hybrid vigor in sorghums. *Agronomy Journal* 41:147-152.

Beil, G. M., & Atkins, R. E. (1967). Estimates of General and Specific Combining Ability in F1 Hybrids for Grain Yield and Its Components in Grain Sorghum, *Sorghum vulgare* Pers. 1. *Crop Science* 7(3): 225-228.

Bernardo, R. (2014). *Essentials of Plant Breeding*. Stemma Press, Woodbury, MN. EEUU. 252p.

Biradar, B. D., Vastrad, S. M., Balikai, R. A and Nidagundi, J. M. (2000). Combining ability studies in *rabi* sorghum. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences* 13: 721-723.

Bolsa de Cereales (2017). *Bolsa de Cereales: Anuario estadístico 2015/16*. Recuperado de http://www.bolsadecereales.com/imagenes/documentos/2017-07/BC_Anuario_Capitulo1.pdf

Bruce, A. B. (1910). The Mendelian theory of heredity and the augmentation of vigor. *Science* 32:627-628.

Can, N. D., Nakamura, S. & Yoshida, T. (1997). Combining ability and Genotype x Environmental interaction in early maturing grain sorghum for summer seeding. *Japanese Journal of Crop Science* 66 (4): 698-705.

Carrasco, N., Zamora, M., & Melin, A. (2011). *Manual de sorgo*. Publicaciones Regionales. 111 p.

Casuso, V., Tarragó, J., Jimenez, J., Dardanelli, S. & Pérez, G. (2016). evaluación de daño por aves en cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor*) en las breñas, provincia del chaco. Revista de la Facultad de Agronomía y Veterinaria (UNL) FAVE Sección Ciencias Agrarias 15(1): 13-24.

Chaudhary, S. B., Patil, J. V., Thombare, B. B and Kulkarni, V. M. (2006). Selection of parents based on combining ability in sorghum [*Sorghum bicolor* L. Moench]. Annals of Plant Physiology 20 (1): 95-97.

Cisneros-López, M., Mendoza-Onofre, L. E., Mora-Aguilera, G., Córdova-Téllez, L., & Livera-Muñoz, M. (2007). Híbridos y progenitores de sorgo tolerantes al frío. I: Calidad de la semilla y su influencia en el establecimiento de plántulas. Agrociencia, 41(1), 45-55.

Colazo, J., Garay, J. & Veneciano, J. (2012). El cultivo de sorgo en San Luis. Villa Mercedes, San Luis (AR): Ediciones INTA. Estación Experimental Agropecuaria San Luis. Información Técnica No. 183, 117 p.

Comstock, R. E., & Robinson, H. F. (1948). The components of genetic variance in populations of biparental progenies and their use in estimating the average degree of dominance. Biometrics 4(4): 254-266.

Cordes, G. G., Timez, E. E., Cravero, F., & Zandri, V. (2013). Evaluación de cultivares de sorgo granífero EEA INTA Manfredi Campaña 2013/14. ed. electrónica.

Crossa, J., Gauch, H. G., & Zobel, R. W. (1990). Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. Crop Science, 30(3), 493-500.

Davenport, C. B. (1908). Degeneration, albinism and inbreeding. Science 28: 454-455.

Doggett, H. (1988). Sorghum. Longman Scientific & Technical.

East, E. (1908). Inbreeding in corn, pp: 419-428 in Reports of the Connecticut Agricultural Experiment Station for Years 1907-1908. Inbreeding in corn. p. 419-428. In Reports of the Connecticut Agricultural Experiment Station for Years 1907-1908.

El-Mottaleb, A. A. A. & Asran, M. R. A. (2004). Heterosis and combining ability in grain sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. Assiut Journal of Agricultural Sciences 35 (1): 165-183.

Evans, J., McCormick, R. F., Morishige, D., Olson, S. N., Weers, B., Hilley, J., Klein, P., Rooney, W. & Mullet, J. (2013). Extensive variation in the density and distribution of DNA polymorphism in sorghum genomes. PloS one 8(11): e79192.

Ezeaku, I. and Mohammed, S. G. (2006). Character association and path analysis in grain sorghum. *African Journal of Biotechnology* 5 (14): 1337-1340.

FAO, FAOSTAT (2011). En <http://www.fao.org/faostat>. Food and Agriculture Organization: 2011.

Fehr, W. R. (1987). *Principles of Cultivar Development*. Vol. 1 Theory and Technique. McGraw-Hill Inc., New York.

Foley, J. A., Ramankutty, N., Braumann, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., Mueller, N. D., O'Connell, C., Ray, D. K., West, P. C., Balzer, C., Bennett, E. M., Carpenter, S. R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockström, J., Sheehan, J., Siebert, S., Tilman, D. & Zaks, D. P. M. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478: 337–342.

Gauch, H. & R. Zobel. (1996). AMMI analysis of yields trials. In: M. Kangs y H. Gauch (eds.). *Genotype by Environment Interaction*. CRC Press, Boca Raton, FL. pp. 85-122.

Giorda, L. M. & Ortíz, D. (2012). Mejoramiento EEA INTA Manfredi. Sorgo para la sustentabilidad y producción animal del NEA estrategias para una mayor productividad. Jornada EEA INTA Colorado. 1ª Jornada de silaje del NEA. Formosa. Argentina.

Giriraj, K. & Goud, J. V. (1982). Genetics of yield and panicle components in grain sorghum. *Crop Improvement* 9 (2): 111-114.

Goud, J. V., M. D. Kachapur & M. J. Vasudeva Rao. (1973). Combining ability in kharif sorghum. *Mysore Journal of Agricultural Science* 7: 369-376

Goud, J. V. & Asawa, B. M. (1978). Yield components in sorghum. *Mysore Journal of Agricultural Sciences* 12: 265-268.

Griffing, B. (1956). Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Sciences* 9(4): 463-493.

Hallauer, A. R., & Miranda Fo, J. B. (1988). *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. Segunda Ed. Iowa State University Press, Ames, EEUU. 468 p.

Hull, F. H. (1945). Recurrent Selection for Specific Combining Ability in Corn 1. *Agronomy Journal* 37(2): 134-145.

Iyanar, K., Gopalan, A. and Ramasamy, P. (2001). Combining ability analysis in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Annals of Agriculture Research New Series* 22 (3): 341-345.

Jadhav, R. R., & Deshmukh, D. T. (2017). Heterosis and combining ability studies in Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) over the environments. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(10), 3058-3064.

Jeyaprakash, P., Ganapathy, S. & Pillai, M. A. (1997). Correlation and path analysis in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Annals of Agricultural Research* 18 (3): 309-312.

Galán Caballero, J., Efraín Jiménez, P. & Cervantes Martínez, C. (2003). Estimación por máxima verosimilitud restringida de componentes de varianza y covarianza de múltiples características bajo los diseños I y II de Carolina del Norte. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26 (1): 53 – 66.

Kamdi, S. R., M. R. Manjare & K. V. Sushir. (2009). Combining ability analysis of fodder yield and component characters in sweet sorghum. *Indian Journal of Agricultural Research* 36:2 38-41.

Kanawade, D. G., Deshmukh, R. B., Kute, N. S., Patil, J. V & Dhonde, S. R. (2001). Combining ability studies in sorghum. *Indian Journal of Agricultural Research* 35 (1): 56-59.

Kanbar, O. Z., Kanbar, A. & Shehab, S. (2011). Combining ability and heterosis for some yield traits in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] using line x tester design. *Journal of Plant Production, Mansoura University* 2 (8): 1009-1016.

Keeble, F., Keeble, F., Pellew, C., & Pellew, C. (1910). The mode of inheritance of stature and of time of flowering in peas (*Pisum sativum*). *Journal of Genetics*, 1(01).

Kenga, R., Alabi, S. O. & Gupta, S. C. (2004). Combining ability studies in tropical sorghum [*Sorghum bicolor* L. Moench]. *Field Crops Research* 88 (3): 251-260.

Kenga, R., Alabi, S. O. & Gupta, S. C. (2005). Heterosis and combining ability for grain yield and its components in induced sorghum mutants. *African Crop Science Journal* 13 (2): 143-152.

Kimber, C. T., (2000). Origins of domesticated sorghum and its early diffusion to India and China. In C. W. Smith and R. A. Frederiksen (ed.) *Sorghum: origin, history, technology, and production*. John Wiley and Sons, Inc., New York: 3-98.

Kirby, J. S. & R. E. Atkins. (1968). Heterotic response for vegetative and mature plant characters in grain sorghum. *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Crop Science* 8:335-339.

Kulakarni, V., Salimath, P. M. & Patil, M. S. (2006). Combining ability analysis in *rabi* sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Crop Research* 32 (3): 455-458.

Kumar, S., & Chand, P. (2015). Combining ability and heterosis for grain yield, fodder yield and other agronomic traits in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Journal of Applied and Natural Science* 7(2): 1001-1005.

Mace, E. S., Tai, S. S., Gilding, E. K., Li Y. H., Prentis, P. J., Bian, L. L., Campbell, B. C., Hu, W. Innes, D. J., Han, X, Cruickshank, A., Dai, C., Frère, C., Zhang, H., Hunt, C. H., Wang, X., Shatte, T., Wang, M., Su, Z., Li, J., Lin, X., Godwin, I. D., Jordan, D. R. & Wang J. (2013). Whole-genome sequencing reveals untapped genetic potential in Africa's indigenous cereal crop sorghum. *Nature Communications* 4:2320. 10.1038

Machado, R. & Miranda, J. B. (2003). Heterosis expression in crosses between maize populations. year yield. *Scientia Agricola* 60(3): 519-524.

Mahajan, R. C., Wadikar, P. B., Pole, S. P. & Dhuppe, M. V. (2011). Variability, correlation and path analysis studies in sorghum. *Research Journal of Agricultural Sciences* 2 (1): 101-103.

Mahdy, E. E., Ali, M. A. & Mahmoud, A. M. (2011). The effect of environment on combining ability and heterosis in grain sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Asian Journal of Crop Science* 3 (1): 1-15.

Makanda, I., Tongoona, P., Derera, J., Sibiyi, J. & Fato, P. (2010). Combining ability and cultivar superiority of sorghum germplasm for grain yield across tropical low-and mid-altitude environments. *Field Crops Research* 116 (1): 75-85.

Malm, N. R. (1968). Exotic germplasm use in grain sorghum improvement. *Crop Science* 8(3): 295-298.

Márquez, S. F. (1988). *Genotecnia vegetal*. Tomo II. Editor AGT. México. 563 p.

Mendoza, O., L. E. (1988). Formación de híbridos de sorgo para grano. II. Comportamiento per se de las líneas y su aptitud combinatoria general. *Rev. Fitotec. Mex.* 11: 39-47.

Mohammed, M. I. & N. H. Talib. (2008). Heterosis and combining ability for quality traits in fodder sorghum. *Australian J. Basic Applied Sci.* 2(1):99-104.

Moll, R. H, Lonquist, J. H, Fortuno, J. V., Johnson, E.C. (1965). The relationship of heterosis and genetic divergence in maize. *Genetics* 52:139-144.

Pacheco, A., M. Vargas, G. Alvarado, F. Rodríguez, J. Crossa & J. Burgueño (2015). *GEA-R (Genotype x Environment Analysis with R for Windows) Version 2.0*. International Maize and Wheat Improvement Center.

Pérez, J. C., Ceballos, H., Pandey, S. & Días, C. (1995). Analysis of diallel crosses among Colombian landraces and improved populations of maize. *Crop Science* 35: 572-578.

Pérez, A., Saucedo, O., Iglesias, J., Wencomo, H. B., Reyes, F., Oquendo, G. & Milián, I. (2010). Caracterización y potencialidades del grano de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Pastos y Forrajes* 33(1): 1.

Poehlman, J. M., & Allen, D. (2003). Aplicación de la biología molecular al fitomejoramiento. Poehlman JM, Allen D. *Mejoramiento Genético de las Cosechas 2*: 145-168.

Prakash, R., K. Ganesamurthy, A. Nirmalakumari & P. Nagarajan. (2010). Combining ability for fodder yield and its components in sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Electronic J. Pl. Br.* 1(2):124-128.

Prasad S. K., Singh T. P. (1986). Heterosis in relation to genetic divergence in maize (*Zea mays* L.). *Euphytica* 35: 919–924.

Premalatha, N., Kumaravadivel, N & Veerabathiran, P. (2006). Heterosis and combining ability for grain yield and its components in grain sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding* 66 (2): 123-126.

Pritsch, C. (2001). El pre-mejoramiento y la utilización de los recursos fitogenéticos. *Estrategia en recursos fitogenéticos para los países del Cono Sur*, 111.

Quinby, J. R., & Martin, J. H. (1954). Sorghum improvement. *Advances in agronomy* (Vol. 6, pp. 305-359). Academic Press.

Quinby, J. R. (1963). Manifestations of hybrid vigor in sorghum. *Crop Science* 3:288-291.

R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Ramírez, L. (2006). Mejora de plantas alógamas. España. Universidad Pública de Navarra. Fondo Editorial, 34.

Rani, C. P., Aruna, C., Farzana, J., & Suguna, M. (2014). Studies on heterosis and combining ability for yield components in grain sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Madras Agricultural Journal* 101(1/3): 1-7.

Rao, S. K., A. K. Gupta, S. S. Baghel, & S. P. Singh. (1982). Combining ability analysis of grain quality in sorghum. *Indian Journal of Agricultural Research* 16: 1-9.

Rao, S. A., Mengesha, M. H., & Reddy, C. R. (1989). Identification, characterization and geographic distribution of male-sterility restorer and maintainer lines from diverse pearl millet germplasm. *Euphytica* 40(1-2): 155-159.

Rashid, M., Cheema, A., & Ashraf, M. (2007). Line x tester analysis in basmati rice. *Pakistan Journal of Botany* 39 (6): 2035-2042.

Rawlings, J. O., & Thompson, D. L. (1962). Performance level as criterion for the choice of maize testers 1. *Crop Science* 2(3): 217-220.

Rivas, G. M., & Berreta, A. (2001). Estrategia en recursos fitogenéticos para los países del Cono Sur. *Procisur*, Montevideo, Uruguay. 139 p.

Rooney, W. L. (2004). Sorghum Improvement—Integrating Traditional and New Technology to Produce Improved Genotypes. *Adv. Agron.* 83:37–109.

Salini, K., Satyanarayana Rao, V., Ramana, J. V. & Srinivasa Rao, V. (2008). Line x Tester analysis in dual purpose sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *The Andhra Agricultural Journal* 55 (2): 166-174.

Sarker, U., Biswas, P. S., Prasad, B., & Mian, M. K. (2002). Heterosis and genetic analysis in rice hybrids. *Pak. J. Biol. Sci*, 5(1), 1-5.

Schertz, K. F. & Dalton, L. G. (1980). Sorghum. En: *Hybridization of Crop Plants*, W. R. Fehr, H. H. Hadley, editors. ASA, CSSA, Madison, WI. EEUU. 577-588 pp.

Searle, S., Cassella, G., & McCullouch, C. (1992). *Variance Components*. New York: John Wiley. 501 p.

Shahane, T. G. & D. R. Bapat. (1981). Combining ability and stability studies in sorghum. *Sorghum Newsletter* 24: 17.

Shankaregowda, B. T., Madhava Rao & S. W. Mensinkai. (1972). Heterosis and line x tester analysis of combining ability in selected lines of sorghum (*Sorghum vulgare*) 11. Combining ability. *Mysore Journal of Agricultural Science* 6: 242-252.

Sharma, H. & Sharma, V. (2006). Heterosis in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Agricultural Science Digest* 26 (4): 245-248.

Shinde, V. K. & S.M. Sudewad. (1981). Line x tester analysis of combining ability in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Journal of MAU* 6: 215-218.

Shull, G. H. (1914). Duplicate genes for capsule-form in *Bursa bursa-pastoris*. *Zeitschrift für Induktive Abstammungs- und Vererbungslehre* 12: 97-149.

Shull, G. H. (1908). The composition of a field of maize. *Journal of Heredity*, (1), 296-301.

Siddiqui, M. A. & Baig, K. S. (2001). Combining ability analysis for yield and its components characters in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *The Journal of Research ANGRAU* 29 (2): 27-34.

Singh, R. K., & Chaudhary, B. D. (1979). *Biometrical methods in quantitative genetic analysis*. Kalyani Publishers, India. 288 p.

Sprague, G. F., & Tatum, L. A. (1942). General vs. specific combining ability in single crosses of corn. *Agronomy Journal* 34(10): 923-932.

Stephens, J. C. & Quinby, J. R. (1952). Yield of a hand-produced hybrid sorghum. *Agronomy Journal* 44: 231-233.

Stephens, J. C., & Holland, R. F. (1954). Cytoplasmic male-sterility for hybrid sorghum seed production 1. *Agronomy Journal*, 46(1): 20-23.

Sunku, S. S. K., Reddy, M. B. & Reddy, P. R. R. (2002). Character association and path analysis in grain sorghums (*Sorghum bicolor* L. Moench) *vis-a-vis* the sudan grasses (*Sorghum sudanense*). *Forage Research* 28 (1): 42-45.

Tadesse, T., Tesso, T. & Ejeta, G. (2008). Combining ability of introduced sorghum parental lines for major morpho-agronomic traits. *Journal of SAT Agricultural Research* 6: 1-7.

Tariq, A. S., Akram, Z., Shabbir, G., Khan, K. S., & Iqbal, M. S. (2014). Heterosis and combining ability studies for quantitative traits in fodder sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Journal of Agricultural Research* 52(3): 329-337.

Taurchi, M. & Rezai, A. M. (1997). Correlation between traits and path analysed for grain yield in sorghum. *Iranian Journal of Agricultural Sciences* 28 (1): 73-86.

Turner, M. F., Heuberger, A. L., Kirkwood, J. S., Collins, C. C., Wolfrum, E. J., Broeckling, C. D., Prenni, J. E. & Jahn, C. E. (2016). Non-targeted metabolomics in diverse sorghum breeding lines indicates primary and secondary metabolite profiles are associated with plant biomass accumulation and photosynthesis. *Frontiers in Plant Science* 7.

Vallati, A. (2008) en Hoja Técnica: Cultivo de Sorgo, INTA, Argentina.

Vanderlip, R. L. (1993). *How a grain sorghum plant develops*. Kansas State University, Manhattan, KS.

Veerabhadhiraan, P., Palanisamy, S. & Palanisamy, G. A. (1994). Association analysis in grain sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. Madras Agricultural Journal 81 (10): 532-534.

Virmani, S. S., Pandey, M. P., Singh, I. S., & Xu, W. J. (2004). Classical and molecular concepts of heterosis. En: Jain H.K., Kharkwal M.C. (eds) Plant Breeding. Springer, Dordrecht 407-418 pp.

Warkad, Y. N., Tidke, R. T., Maske, N. M., Kharde, A. V. & Potdukhe, N. R. (2010). Character association and path analysis in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. International Journal of Agricultural Sciences 6 (1): 100-104.

Yan, W., Hunt, L. A., Sheng, Q., & Szlavnic, Z. (2000). Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. Crop Science, 40(3), 597-605.

Yan, W., & Hunt, L. A. (2002). Biplot analysis of diallel data. Crop Science 42(1): 21-30.

Yu, J., & Tuinstra, M. R. (2001). Genetic analysis of seedling growth under cold temperature stress in grain sorghum. Crop Science 41(5): 1438-1443.

ANEXO I. Lista de líneas R, líneas A e híbridos T utilizados en los ensayos.

Denominación	Pedigree	Nombre	Origen
R.1	PI 267128	GAOLIAN BROOM	Union Sovietica, Former
R.2	PI 287682	MANAGIL DWARF	Zimbabwe
R.3	PI 291383	283	China
R.4	PI 295120	ALPHA	Australia
R.5	PI 302119	A 385	Desconocido
R.6	PI 326289	GAOLIAN VOSKOVIDNYJ	Union Sovietica, Former
R.7	PI 521188	Rachar	Kenya
R.8	PI 532881	IA7	Estados Unidos
R.9	PI 532883	IA9	Estados Unidos
R.10	PI 533607	IA60	Estados Unidos
R.11	PI 534050	78 SBI 140	Burkina Faso
R.12	PI 542747	HONG KE	China, Jilin
R.13	PI 542760	JILIN HU NO. 2	China, Jilin
R.14	PI 547966	GE TA HONG	China
R.15	PI 550586	SKOROSPELOE 84	Union Sovietica, Former
R.16	PI 610673	BA YE QI	China
R.17	PI 610674	DA LI HONG	China, Heilongjiang
R.18	PI 610688	SUIHUA DA SREYAN	China
R.19	PI 610690	6	China
R.20	PI 610714	JUI YE HONG	China, Shanxi
R.21	PI 643113	88-07230	India, Andhra Pradesh
R.22	PI 643498	IS 1222	China
R.23	PI 643567	IS 876	Estados Unidos
R.24	PI 643616	IS 2926	Estados Unidos
R.25	PI 643686	IS 57	Desconocido
R.26	PI 643723	IS 54	Desconocido
R.27	PI 643736	IS 339	Estados Unidos
R.28	PI 643800	ISABELA NO 10077	Estados Unidos
R.29	PI 643801	ISABELA NO 10078	Estados Unidos
R.30	PI 643803	ISABELA NO 10080	Estados Unidos
R.31	PI 643804	ISABELA NO 10081	Estados Unidos
R.32	PI 643810	ISABELA NO 10174	Estados Unidos
R.33	PI 643811	ISABELA NO 10175	Desconocido
R.34	PI 643824	ISABELA NO 10201	Mexico
R.35	PI 643842	ISABELA NO 10247	India
R.36	PI 644365	IS 3104	Estados Unidos
R.37	PI 644449	IS 3083	Iran, Khuzestan
R.38	PI 644474	IS 3237	Estados Unidos
R.39	PI 644711	PR 10581	Estados Unidos
R.40	PI 665030	IS 8024	Japón

A.1	A.1	Línea A1	Argentina
A.2	A.2	Línea A2	Estados Unidos
A.3	A.3	Línea A3	Argentina
A.4	A.4	Línea A4	Estados Unidos

T1	UE.NT	Testigo T1	Estados Unidos
T2	WT.T	Testigo T2	Argentina
T3	T30.T	Testigo T3	Argentina

ANEXO II. Tablas de medias de las líneas A, líneas R, híbridos AxR e híbridos testigos para las cuatro variables estudiadas.

Tipo	Línea	Rendimiento de grano	Días a floración	Altura de planta	Excursión de panoja
A	A.1	5497	64	141	7
A	A.2	2154	69	110,7	3,7
A	A.3	4448	68	118,7	6,7
A	A.4	3607	63	120,3	6

p-valor	<0,0001	0,0292	0,0010	0,0219
DMS	233,73	4,47	8,93	2,23
CV%	2,98	3,4	3,65	21,3

Tipo	Línea	Rendimiento de grano	Días a floración	Altura de planta	Excursión de panoja
R	R.1	1488	57	190	10
R	R.2	4103	62	159,7	5
R	R.3	1595	58	170	15,7
R	R.4	5071	80	149,7	6,3
R	R.5	3964	67	204	8,0
R	R.6	2140	61	180,3	16
R	R.8	4306	64	141,7	3
R	R.9	4497	65	110,7	3
R	R.10	4191	61	164,3	7,3
R	R.11	4110	64	155,3	9
R	R.12	1906	58	184,7	8,3
R	R.13	3122	60	175,3	10
R	R.14	2592	54	159,7	7,3
R	R.15	1689	54	150,3	11
R	R.16	1868	58	181,7	9,7
R	R.17	2468	59	168,7	7,7
R	R.18	1658	58	170,3	3
R	R.19	1559	56	164,3	5,3
R	R.20	3098	58	160,7	6
R	R.21	3076	64	205,7	4,7
R	R.22	3069	67	215	5
R	R.23	3686	63	181	9,7
R	R.24	3736	71	155	7,7
R	R.25	3443	76	179,7	11
R	R.26	3695	63	209	18,7

R	R.27	3225	64	171	5
R	R.28	3572	66	179,3	8
R	R.29	4543	65	170	5,7
R	R.30	3413	63	159,3	4
R	R.31	3512	64	179	11
R	R.32	1098	63	179	19,7
R	R.33	4080	66	175,7	7,7
R	R.34	3439	68	189	14
R	R.36	2070	61	180	13,3
R	R.37	3163	67	209	13
R	R.38	2778	60	183,7	21,7
R	R.39	2650	67	190,3	20
R	R.40	4400	64	159	11

p-valor	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
DMS	616,81	3,25	6,50	1,62
CV%	12,20	3,18	2,29	11,03

Tipo	Híbrido	Rendimiento de grano	Días a floración	Altura de planta	Excursión de panoja
Hy	A.1*R.1	3454	54	180	8,3
Hy	A.1*R.2	6606	58	179,7	8
Hy	A.1*R.3	3930	53	174,3	15,3
Hy	A.1*R.4	5148	70	150	13
Hy	A.1*R.5	6698	64	170,7	9,3
Hy	A.1*R.6	5239	59	181,7	9
Hy	A.1*R.8	5863	63	130,3	9
Hy	A.1*R.9	5827	61	148,7	6,3
Hy	A.1*R.10	4962	60	141	6,3
Hy	A.1*R.11	6060	63	164,7	11
Hy	A.1*R.12	4451	57	185	8,7
Hy	A.1*R.13	5020	58	190	8,7
Hy	A.1*R.14	4912	56	168,3	5,3
Hy	A.1*R.15	4790	59	170,7	9
Hy	A.1*R.16	5424	58	180	4,7
Hy	A.1*R.17	4172	57	185,3	5,7
Hy	A.1*R.18	4604	58	179,3	8,3
Hy	A.1*R.19	3805	61	179,7	19,7
Hy	A.1*R.20	4522	55	154,3	10
Hy	A.1*R.21	4589	59	180	10,7
Hy	A.1*R.22	6792	64	194,3	27

Hy	A.1*R.23	4624	60	159,7	10
Hy	A.1*R.24	5704	60	108,7	21,3
Hy	A.1*R.25	5983	60	181	17,3
Hy	A.1*R.26	5258	59	190	16,3
Hy	A.1*R.27	5505	63	185	8,7
Hy	A.1*R.28	5658	57	169,7	6
Hy	A.1*R.29	5266	60	158,7	7,3
Hy	A.1*R.30	5357	58	161	6,7
Hy	A.1*R.31	5349	62	184,7	12,3
Hy	A.1*R.32	4668	59	184,7	5,3
Hy	A.1*R.33	5456	62	188,3	12,3
Hy	A.1*R.34	5342	63	179,7	9
Hy	A.1*R.36	3271	61	191,3	21,3
Hy	A.1*R.37	6658	61	189,3	19
Hy	A.1*R.38	4481	63	195,7	20,3
Hy	A.1*R.39	5692	61	191	14
Hy	A.1*R.40	6803	60	170,3	7,3
Hy	A.2*R.2	5337	65	169,3	11,7
Hy	A.2*R.4	5424	75	146,3	4
Hy	A.2*R.5	4912	65	169,3	6,7
Hy	A.2*R.6	5706	58	189	10,3
Hy	A.2*R.8	5357	64	138,7	5
Hy	A.2*R.9	5108	62	133,7	3,7
Hy	A.2*R.10	5503	63	145	7,7
Hy	A.2*R.11	6075	64	154,3	7,7
Hy	A.2*R.13	4489	61	189,7	11,7
Hy	A.2*R.16	4584	60	185	8,3
Hy	A.2*R.19	4745	64	190,7	20,3
Hy	A.2*R.20	1779	62	129,7	2,3
Hy	A.2*R.21	5937	63	199,7	9
Hy	A.2*R.24	4204	66	150,7	7
Hy	A.2*R.25	5160	64	185	7,3
Hy	A.2*R.26	3494	62	189,7	9
Hy	A.2*R.27	5156	63	165,7	3,7
Hy	A.2*R.28	3633	62	169	8
Hy	A.2*R.29	3728	61	49,3	7,3
Hy	A.2*R.31	3789	62	159,7	4,3
Hy	A.2*R.33	3256	63	190	11
Hy	A.2*R.36	4543	61	169,3	12
Hy	A.2*R.37	4809	65	194,7	11,7
Hy	A.2*R.38	3953	61	184	13,3
Hy	A.3*R.1	2378	54	185	12
Hy	A.3*R.2	6425	60	170	11

Hy	A.3*R.3	3676	57	164,3	7
Hy	A.3*R.4	5569	70	154,3	13
Hy	A.3*R.5	6033	68	184,3	15
Hy	A.3*R.6	5363	60	201,3	9
Hy	A.3*R.8	4853	66	144,3	6,3
Hy	A.3*R.9	5373	65	139,7	7,3
Hy	A.3*R.10	4983	62	154	6,7
Hy	A.3*R.11	6151	65	170	13,3
Hy	A.3*R.12	4171	59	189	9,3
Hy	A.3*R.13	5009	59	191	11,7
Hy	A.3*R.14	4957	60	179,3	7,3
Hy	A.3*R.15	4840	60	170,7	6,7
Hy	A.3*R.17	4644	59	184,3	5,3
Hy	A.3*R.18	4851	57	183,7	4,7
Hy	A.3*R.19	4214	61	184	15,3
Hy	A.3*R.20	5417	59	165,3	9,7
Hy	A.3*R.21	4597	63	200	18,3
Hy	A.3*R.22	5934	63	210	21
Hy	A.3*R.23	4737	60	165	20,3
Hy	A.3*R.24	5301	68	159,3	11,3
Hy	A.3*R.25	7249	64	180,3	26
Hy	A.3*R.26	7740	61	189,3	17,3
Hy	A.3*R.27	5071	63	179,3	21
Hy	A.3*R.28	5115	60	184	9,7
Hy	A.3*R.29	6777	63	159,3	11
Hy	A.3*R.30	6373	63	164,3	8
Hy	A.3*R.31	4942	61	185	4,3
Hy	A.3*R.32	4407	60	189,3	8
Hy	A.3*R.33	4505	63	190,3	13
Hy	A.3*R.34	4695	65	185,3	5,7
Hy	A.3*R.36	3134	62	191,3	7,3
Hy	A.3*R.37	5024	64	214	26,3
Hy	A.3*R.38	3993	64	199,3	12,7
Hy	A.3*R.39	4328	64	208,3	10,7
Hy	A.3*R.40	7481	63	170	13,3
Hy	A.4*R.2	6350	59	170,3	12
Hy	A.4*R.3	3638	55	176,3	13
Hy	A.4*R.4	6167	67	149,3	13,3
Hy	A.4*R.5	5747	63	179,3	11
Hy	A.4*R.6	5044	60	180	8,3
Hy	A.4*R.8	5506	61	139,3	7,7
Hy	A.4*R.9	4977	60	135,3	11,3
Hy	A.4*R.10	4147	58	40	3

Hy	A.4*R.11	6057	62	166,3	14,7
Hy	A.4*R.12	3819	58	185,7	7
Hy	A.4*R.13	5309	60	185	15,3
Hy	A.4*R.14	5325	58	175,7	8
Hy	A.4*R.15	4014	57	160,7	11,3
Hy	A.4*R.16	5024	57	185	8,7
Hy	A.4*R.18	5089	59	190	12
Hy	A.4*R.19	4780	60	181	8,7
Hy	A.4*R.20	5143	58	155	5,7
Hy	A.4*R.22	5080	63	188,7	7,3
Hy	A.4*R.23	4526	57	100,7	10,3
Hy	A.4*R.24	4650	64	105,3	8,3
Hy	A.4*R.25	5908	63	180,3	21
Hy	A.4*R.26	4518	59	185,7	6,7
Hy	A.4*R.27	6094	62	175,3	7,3
Hy	A.4*R.28	4881	63	179,3	12,7
Hy	A.4*R.29	4942	59	145	9,7
Hy	A.4*R.30	4500	59	165,3	16,3
Hy	A.4*R.31	4808	60	176,3	9
Hy	A.4*R.32	4617	57	185,3	14,3
Hy	A.4*R.33	3939	62	174,3	15,7
Hy	A.4*R.34	4236	61	178	7,7
Hy	A.4*R.36	3210	59	175,3	16
Hy	A.4*R.37	4925	58	194	19,3
Hy	A.4*R.39	7093	61	181	10,7
Hy	A.4*R.40	5325	61	168,3	6,7

p-valor	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
DMS	606,55	3,17	6,35	1,59
CV%	7,51	3,23	2,3	9,64

Tipo	Híbrido	Rendimiento de grano	Días a floración	Altura de planta	Excursión de panoja
T	TESTIGO 1	5283	58	139,7	6,3
T	TESTIGO 2	5774	60	155	7,7
T	TESTIGO 3	5274	60	149,7	7,3

p-valor	0,0396	0,1811	0,0175	0,0370
DMS	395,88	4,14	8,28	2,07
CV%	3,21	3,04	2,46	14,41

ANEXO III. Resultados obtenidos de la aptitud combinatoria general de las líneas R para la variable rendimiento de grano.

RENDIMIENTO DE GRANO						
Tipo	Línea R	ACG	sd	t_calc	df	pval
R	R.1	-1380,91	407,891	-3,385	37	0,002
R	R.2	939,15	324,155	2,897	37	0,006
R	R.3	-937,57	358,424	-2,616	37	0,013
R	R.4	477,87	324,155	1,474	37	0,149
R	R.5	685,01	324,155	2,113	37	0,041
R	R.6	295,16	324,155	0,911	37	0,368
R	R.8	338,45	324,155	1,044	37	0,303
R	R.9	282,21	324,155	0,871	37	0,390
R	R.10	-41,02	324,155	-0,127	37	0,900
R	R.11	867,35	324,155	2,676	37	0,011
R	R.12	-654,52	358,424	-1,826	37	0,076
R	R.13	3,62	324,155	0,011	37	0,991
R	R.14	-3,02	358,424	-0,008	37	0,993
R	R.15	-369,73	358,424	-1,032	37	0,309
R	R.16	80,22	358,688	0,224	37	0,824
R	R.17	-456,30	407,891	-1,119	37	0,270
R	R.18	-156,79	358,424	-0,437	37	0,664
R	R.19	-433,49	324,155	-1,337	37	0,189
R	R.20	-564,18	324,155	-1,740	37	0,090
R	R.21	54,89	358,628	0,153	37	0,879
R	R.22	614,94	358,424	1,716	37	0,095
R	R.23	-312,11	358,424	-0,871	37	0,389
R	R.24	9,22	324,155	0,028	37	0,977
R	R.25	859,18	324,155	2,651	37	0,012
R	R.26	229,62	324,155	0,708	37	0,483
R	R.27	385,61	324,155	1,190	37	0,242
R	R.28	-100,07	324,155	-0,309	37	0,759
R	R.29	172,75	324,155	0,533	37	0,597
R	R.30	242,07	358,424	0,675	37	0,504
R	R.31	-176,21	324,155	-0,544	37	0,590
R	R.32	-358,54	358,424	-1,000	37	0,324
R	R.33	-507,72	324,155	-1,566	37	0,126
R	R.34	-220,98	358,424	-0,617	37	0,541
R	R.36	-1081,17	324,155	-3,335	37	0,002
R	R.37	307,44	324,155	0,948	37	0,349
R	R.38	-582,91	358,628	-1,625	37	0,113
R	R.39	450,93	358,424	1,258	37	0,216
R	R.40	1041,54	358,424	2,906	37	0,006

ANEXO IV. Resultados obtenidos de la aptitud combinatoria general de las líneas R para la variable días a floración.

DÍAS A FLORACIÓN						
Tipo	Línea R	ACG	sd	t_calc	df	pval
R	R.1	-5,996	1,039	-5,7709	37	0,000
R	R.2	-0,311	0,799	-0,3896	37	0,699
R	R.3	-5,045	0,890	-5,6704	37	0,000
R	R.4	8,661	0,799	10,8438	37	0,000
R	R.5	3,556	0,799	4,4524	37	0,000
R	R.6	-1,781	0,799	-2,2295	37	0,032
R	R.8	2,551	0,799	3,1935	37	0,003
R	R.9	0,926	0,799	1,1599	37	0,254
R	R.10	-0,156	0,799	-0,1959	37	0,846
R	R.11	2,319	0,799	2,9030	37	0,006
R	R.12	-2,125	0,890	-2,3878	37	0,022
R	R.13	-1,394	0,799	-1,7453	37	0,089
R	R.14	-2,528	0,890	-2,8405	37	0,007
R	R.15	-1,722	0,890	-1,9350	37	0,061
R	R.16	-2,241	0,891	-2,5147	37	0,016
R	R.17	-2,532	1,039	-2,4370	37	0,020
R	R.18	-2,225	0,890	-2,5010	37	0,017
R	R.19	0,385	0,799	0,4820	37	0,633
R	R.20	-2,400	0,799	-3,0042	37	0,005
R	R.21	0,154	0,891	0,1728	37	0,864
R	R.22	2,710	0,890	3,0455	37	0,004
R	R.23	-1,520	0,890	-1,7086	37	0,096
R	R.24	3,092	0,799	3,8714	37	0,000
R	R.25	1,777	0,799	2,2251	37	0,032
R	R.26	-0,621	0,799	-0,7769	37	0,442
R	R.27	1,390	0,799	1,7409	37	0,090
R	R.28	-0,311	0,799	-0,3896	37	0,699
R	R.29	-0,156	0,799	-0,1959	37	0,846
R	R.30	-0,412	0,890	-0,4635	37	0,646
R	R.31	0,153	0,799	0,1915	37	0,849
R	R.32	-1,822	0,890	-2,0482	37	0,048
R	R.33	1,545	0,799	1,9346	37	0,061
R	R.34	2,206	0,890	2,4795	37	0,018
R	R.36	-0,389	0,799	-0,4864	37	0,630
R	R.37	1,004	0,799	1,2567	37	0,217
R	R.38	1,161	0,891	1,3036	37	0,200
R	R.39	1,401	0,890	1,5740	37	0,124
R	R.40	0,695	0,890	0,7816	37	0,439

ANEXO V. Resultados obtenidos de la aptitud combinatoria general de las líneas R para la variable altura de planta.

ALTURA DE PLANTA						
Tipo	Línea R	ACG	sd	t_calc	df	pval
R	R.1	5,113	9,754	0,524	37	0,603
R	R.2	0,678	7,496	0,090	37	0,928
R	R.3	-0,945	8,392	-0,113	37	0,911
R	R.4	-18,324	7,496	-2,444	37	0,019
R	R.5	3,727	7,496	0,497	37	0,622
R	R.6	14,009	7,496	1,869	37	0,070
R	R.8	-28,393	7,496	-3,788	37	0,001
R	R.9	-27,400	7,496	-3,655	37	0,001
R	R.10	-43,850	7,496	-5,849	37	0,000
R	R.11	-6,554	7,496	-0,874	37	0,388
R	R.12	11,123	8,392	1,325	37	0,193
R	R.13	14,788	7,496	1,973	37	0,056
R	R.14	1,306	8,392	0,156	37	0,877
R	R.15	-4,458	8,392	-0,531	37	0,598
R	R.16	11,408	8,396	1,359	37	0,182
R	R.17	6,841	9,754	0,701	37	0,487
R	R.18	9,322	8,392	1,111	37	0,274
R	R.19	10,463	7,496	1,396	37	0,171
R	R.20	-17,402	7,496	-2,321	37	0,026
R	R.21	16,436	8,395	1,958	37	0,058
R	R.22	20,130	8,392	2,399	37	0,022
R	R.23	-25,172	8,392	-3,000	37	0,005
R	R.24	-34,491	7,496	-4,601	37	0,000
R	R.25	8,620	7,496	1,150	37	0,258
R	R.26	14,576	7,496	1,944	37	0,059
R	R.27	4,082	7,496	0,545	37	0,589
R	R.28	3,373	7,496	0,450	37	0,655
R	R.29	-36,972	7,496	-4,932	37	0,000
R	R.30	-7,520	8,392	-0,896	37	0,376
R	R.31	4,153	7,496	0,554	37	0,583
R	R.32	11,033	8,392	1,315	37	0,197
R	R.33	12,094	7,496	1,613	37	0,115
R	R.34	6,620	8,392	0,789	37	0,435
R	R.36	8,762	7,496	1,169	37	0,250
R	R.37	22,517	7,496	3,004	37	0,005
R	R.38	16,256	8,395	1,936	37	0,060
R	R.39	16,707	8,392	1,991	37	0,054
R	R.40	-2,656	8,392	-0,317	37	0,753

ANEXO VI. Resultados obtenidos de la aptitud combinatoria general de las líneas R para la variable excersión de planta.

EXCERSIÓN DE PANOJA						
Tipo	Línea R	ACG	sd	t_calc	df	pval
R	R.1	-0,533	2,002	-0,266	37	0,791
R	R.2	0,068	1,667	0,041	37	0,968
R	R.3	0,348	1,811	0,192	37	0,848
R	R.4	0,174	1,667	0,104	37	0,918
R	R.5	-0,037	1,667	-0,022	37	0,982
R	R.6	-0,880	1,667	-0,528	37	0,601
R	R.8	-2,249	1,667	-1,349	37	0,185
R	R.9	-2,144	1,667	-1,286	37	0,206
R	R.10	-2,934	1,667	-1,760	37	0,087
R	R.11	0,700	1,667	0,420	37	0,677
R	R.12	-1,591	1,811	-0,879	37	0,385
R	R.13	0,806	1,667	0,483	37	0,632
R	R.14	-2,404	1,811	-1,328	37	0,192
R	R.15	-1,216	1,811	-0,671	37	0,506
R	R.16	-1,700	1,812	-0,938	37	0,354
R	R.17	-2,690	2,002	-1,343	37	0,187
R	R.18	-1,591	1,811	-0,879	37	0,385
R	R.19	3,440	1,667	2,063	37	0,046
R	R.20	-2,302	1,667	-1,381	37	0,176
R	R.21	1,239	1,812	0,684	37	0,498
R	R.22	4,102	1,811	2,265	37	0,029
R	R.23	1,349	1,811	0,745	37	0,461
R	R.24	0,911	1,667	0,547	37	0,588
R	R.25	4,651	1,667	2,790	37	0,008
R	R.26	1,122	1,667	0,673	37	0,505
R	R.27	-0,248	1,667	-0,149	37	0,883
R	R.28	-0,932	1,667	-0,559	37	0,579
R	R.29	-1,090	1,667	-0,654	37	0,517
R	R.30	-0,465	1,811	-0,257	37	0,799
R	R.31	-1,933	1,667	-1,160	37	0,254
R	R.32	-1,091	1,811	-0,602	37	0,551
R	R.33	1,543	1,667	0,926	37	0,361
R	R.34	-2,091	1,811	-1,155	37	0,255
R	R.36	2,281	1,667	1,368	37	0,180
R	R.37	5,389	1,667	3,232	37	0,003
R	R.38	2,803	1,812	1,547	37	0,130
R	R.39	0,348	1,811	0,192	37	0,848
R	R.40	-1,153	1,811	-0,637	37	0,528

ANEXO VII. Resultados obtenidos de la aptitud combinatoria general de las líneas A para las cuatro variables estudiadas.

RENDIMIENTO DE GRANO						
Tipo	Línea A	ACG	sd	t_calc	df	pval
A	A.1	218,90	131,565	1,664	3	0,195
A	A.2	-349,64	151,193	-2,313	3	0,104
A	A.3	164,25	132,653	1,238	3	0,304
A	A.4	-33,51	136,120	-0,246	3	0,821

DIAS A FLORACIÓN						
Tipo	Línea A	ACG	sd	t_calc	df	pval
A	A.1	-1,080	0,427	-2,5312	3	0,085
A	A.2	1,307	0,466	2,8056	3	0,068
A	A.3	0,924	0,429	2,1554	3	0,120
A	A.4	-1,151	0,435	-2,6457	3	0,077

ALTURA DE PLANTA						
Tipo	Línea A	ACG	sd	t_calc	df	pval
A	A.1	1,285	2,983	0,431	3	0,696
A	A.2	-3,890	3,353	-1,160	3	0,330
A	A.3	6,832	3,004	2,274	3	0,107
A	A.4	-4,227	3,069	-1,377	3	0,262

EXCERSIÓN DE PANOJA						
Tipo	Línea A	ACG	sd	t_calc	df	pval
A	A.1	0,572	0,680	0,841	3	0,462
A	A.2	-1,802	0,790	-2,281	3	0,107
A	A.3	0,953	0,686	1,389	3	0,259
A	A.4	0,276	0,706	0,392	3	0,722

ANEXO VIII. Aptitud combinatoria específica de los híbridos AxR para la variable rendimiento de grano.

RENDIMIENTO DE GRANO						
Tipo	Cruza	ACE	sd	t_calc	df	pval
Hy	A.1*R.1	-306,11	428,099	-0,715	392	0,475
Hy	A.1*R.2	450,96	365,735	1,233	392	0,218
Hy	A.1*R.3	-276,25	390,605	-0,707	392	0,480
Hy	A.1*R.4	-455,66	365,735	-1,246	392	0,214
Hy	A.1*R.5	765,21	365,735	2,092	392	0,037
Hy	A.1*R.6	-206,40	365,735	-0,564	392	0,573
Hy	A.1*R.8	320,76	365,735	0,877	392	0,381
Hy	A.1*R.9	339,65	365,735	0,929	392	0,354
Hy	A.1*R.10	-152,72	365,735	-0,418	392	0,676
Hy	A.1*R.11	19,16	365,735	0,052	392	0,958
Hy	A.1*R.12	-60,19	390,605	-0,154	392	0,878
Hy	A.1*R.13	-140,55	365,735	-0,384	392	0,701
Hy	A.1*R.14	-233,45	390,605	-0,598	392	0,550
Hy	A.1*R.15	-10,67	390,605	-0,027	392	0,978
Hy	A.1*R.16	156,72	391,064	0,401	392	0,689
Hy	A.1*R.17	-493,86	428,099	-1,154	392	0,249
Hy	A.1*R.18	-373,69	390,605	-0,957	392	0,339
Hy	A.1*R.19	-848,01	365,735	-2,319	392	0,021
Hy	A.1*R.20	-77,61	365,735	-0,212	392	0,832
Hy	A.1*R.21	-579,55	390,968	-1,482	392	0,139
Hy	A.1*R.22	914,48	390,605	2,341	392	0,020
Hy	A.1*R.23	-213,44	390,605	-0,546	392	0,585
Hy	A.1*R.24	475,49	365,735	1,300	392	0,194
Hy	A.1*R.25	-43,28	365,735	-0,118	392	0,906
Hy	A.1*R.26	-130,11	365,735	-0,356	392	0,722
Hy	A.1*R.27	-47,56	365,735	-0,130	392	0,897
Hy	A.1*R.28	533,46	365,735	1,459	392	0,145
Hy	A.1*R.29	-71,27	365,735	-0,195	392	0,846
Hy	A.1*R.30	-51,38	390,605	-0,132	392	0,895
Hy	A.1*R.31	321,68	365,735	0,880	392	0,380
Hy	A.1*R.32	-132,02	390,605	-0,338	392	0,736
Hy	A.1*R.33	720,85	365,735	1,971	392	0,049
Hy	A.1*R.34	355,94	390,605	0,911	392	0,363
Hy	A.1*R.36	-744,74	365,735	-2,036	392	0,042
Hy	A.1*R.37	1072,41	365,735	2,932	392	0,004
Hy	A.1*R.38	-97,41	390,968	-0,249	392	0,803

Hy	A.1*R.39	63,52	390,605	0,163	392	0,871
Hy	A.1*R.40	536,58	390,605	1,374	392	0,170
Hy	A.2*R.2	-186,23	370,030	-0,503	392	0,615
Hy	A.2*R.4	311,72	370,030	0,842	392	0,400
Hy	A.2*R.5	-341,48	370,030	-0,923	392	0,357
Hy	A.2*R.6	734,48	370,030	1,985	392	0,048
Hy	A.2*R.8	378,09	370,030	1,022	392	0,308
Hy	A.2*R.9	202,33	370,030	0,547	392	0,585
Hy	A.2*R.10	856,08	370,030	2,314	392	0,021
Hy	A.2*R.11	550,13	370,030	1,487	392	0,138
Hy	A.2*R.13	-106,31	370,030	-0,287	392	0,774
Hy	A.2*R.16	-89,90	394,368	-0,228	392	0,820
Hy	A.2*R.19	523,42	370,030	1,415	392	0,158
Hy	A.2*R.20	-2054,08	370,030	-5,551	392	0,000
Hy	A.2*R.21	1162,85	394,334	2,949	392	0,003
Hy	A.2*R.24	-370,94	370,030	-1,002	392	0,317
Hy	A.2*R.25	-274,12	370,030	-0,741	392	0,459
Hy	A.2*R.26	-1216,62	370,030	-3,288	392	0,001
Hy	A.2*R.27	152,08	370,030	0,411	392	0,681
Hy	A.2*R.28	-790,57	370,030	-2,136	392	0,033
Hy	A.2*R.29	-952,36	370,030	-2,574	392	0,010
Hy	A.2*R.31	-579,33	370,030	-1,566	392	0,118
Hy	A.2*R.33	-763,06	370,030	-2,062	392	0,040
Hy	A.2*R.36	928,90	370,030	2,510	392	0,012
Hy	A.2*R.37	-91,84	370,030	-0,248	392	0,804
Hy	A.2*R.38	-61,15	394,334	-0,155	392	0,877
Hy	A.3*R.1	-1234,07	428,205	-2,882	392	0,004
Hy	A.3*R.2	335,23	365,977	0,916	392	0,360
Hy	A.3*R.3	-457,03	390,782	-1,170	392	0,243
Hy	A.3*R.4	-23,08	365,977	-0,063	392	0,950
Hy	A.3*R.5	210,06	365,977	0,574	392	0,566
Hy	A.3*R.6	-44,64	365,977	-0,122	392	0,903
Hy	A.3*R.8	-547,29	365,977	-1,495	392	0,136
Hy	A.3*R.9	-23,28	365,977	-0,064	392	0,949
Hy	A.3*R.10	-84,53	365,977	-0,231	392	0,817
Hy	A.3*R.11	151,68	365,977	0,414	392	0,679
Hy	A.3*R.12	-264,68	390,782	-0,677	392	0,499
Hy	A.3*R.13	-100,90	365,977	-0,276	392	0,783
Hy	A.3*R.14	-142,13	390,782	-0,364	392	0,716
Hy	A.3*R.15	84,58	390,782	0,216	392	0,829
Hy	A.3*R.17	-15,07	428,205	-0,035	392	0,972

Hy	A.3*R.18	-98,64	390,782	-0,252	392	0,801
Hy	A.3*R.19	-426,93	365,977	-1,167	392	0,244
Hy	A.3*R.20	785,60	365,977	2,147	392	0,032
Hy	A.3*R.21	-522,07	391,159	-1,335	392	0,183
Hy	A.3*R.22	184,33	390,782	0,472	392	0,637
Hy	A.3*R.23	-61,55	390,782	-0,157	392	0,875
Hy	A.3*R.24	158,83	365,977	0,434	392	0,665
Hy	A.3*R.25	1157,68	365,977	3,163	392	0,002
Hy	A.3*R.26	2176,40	365,977	5,947	392	0,000
Hy	A.3*R.27	-392,50	365,977	-1,072	392	0,284
Hy	A.3*R.28	89,43	365,977	0,244	392	0,807
Hy	A.3*R.29	1352,06	365,977	3,694	392	0,000
Hy	A.3*R.30	922,42	390,782	2,360	392	0,019
Hy	A.3*R.31	1,41	365,977	0,004	392	0,997
Hy	A.3*R.32	-319,06	390,782	-0,816	392	0,415
Hy	A.3*R.33	-94,60	365,977	-0,258	392	0,796
Hy	A.3*R.34	-182,14	390,782	-0,466	392	0,641
Hy	A.3*R.36	-819,65	365,977	-2,240	392	0,026
Hy	A.3*R.37	-364,06	365,977	-0,995	392	0,320
Hy	A.3*R.38	-491,58	391,159	-1,257	392	0,210
Hy	A.3*R.39	-1127,18	390,782	-2,884	392	0,004
Hy	A.3*R.40	1203,04	390,782	3,079	392	0,002
Hy	A.4*R.2	447,51	366,660	1,221	392	0,223
Hy	A.4*R.3	-312,43	391,352	-0,798	392	0,425
Hy	A.4*R.4	700,00	366,660	1,909	392	0,057
Hy	A.4*R.5	130,24	366,660	0,355	392	0,723
Hy	A.4*R.6	-154,25	366,660	-0,421	392	0,674
Hy	A.4*R.8	225,93	366,660	0,616	392	0,538
Hy	A.4*R.9	-203,94	366,660	-0,556	392	0,578
Hy	A.4*R.10	-664,58	366,660	-1,813	392	0,071
Hy	A.4*R.11	246,42	366,660	0,672	392	0,502
Hy	A.4*R.12	-405,14	391,352	-1,035	392	0,301
Hy	A.4*R.13	351,79	366,660	0,959	392	0,338
Hy	A.4*R.14	372,22	391,352	0,951	392	0,342
Hy	A.4*R.15	-486,28	391,352	-1,243	392	0,215
Hy	A.4*R.16	22,65	391,763	0,058	392	0,954
Hy	A.4*R.18	297,45	391,352	0,760	392	0,448
Hy	A.4*R.19	268,02	366,660	0,731	392	0,465
Hy	A.4*R.20	716,84	366,660	1,955	392	0,051
Hy	A.4*R.22	-412,94	391,352	-1,055	392	0,292
Hy	A.4*R.23	-73,12	391,352	-0,187	392	0,852

Hy	A.4*R.24	-253,11	366,660	-0,690	392	0,490
Hy	A.4*R.25	118,00	366,660	0,322	392	0,748
Hy	A.4*R.26	-573,56	366,660	-1,564	392	0,119
Hy	A.4*R.27	718,07	366,660	1,958	392	0,051
Hy	A.4*R.28	56,07	366,660	0,153	392	0,879
Hy	A.4*R.29	-135,76	366,660	-0,370	392	0,711
Hy	A.4*R.30	-601,05	391,352	-1,536	392	0,125
Hy	A.4*R.31	59,71	366,660	0,163	392	0,871
Hy	A.4*R.32	51,19	391,352	0,131	392	0,896
Hy	A.4*R.33	-429,47	366,660	-1,171	392	0,242
Hy	A.4*R.34	-420,27	391,352	-1,074	392	0,284
Hy	A.4*R.36	-570,37	366,660	-1,556	392	0,121
Hy	A.4*R.37	-273,62	366,660	-0,746	392	0,456
Hy	A.4*R.39	1566,59	391,352	4,003	392	0,000
Hy	A.4*R.40	-577,95	391,352	-1,477	392	0,141

ANEXO IX. Aptitud combinatoria específica de los híbridos AxR para la variable días a floración.

DIAS A FLORACIÓN						
Tipo	Cruza	ACE	sd	t_calc	df	pval
Hy	A.1*R.1	-0,233	1,003	-0,2320	392	0,817
Hy	A.1*R.2	-1,146	0,811	-1,4127	392	0,159
Hy	A.1*R.3	-1,684	0,883	-1,9075	392	0,057
Hy	A.1*R.4	0,972	0,811	1,1981	392	0,232
Hy	A.1*R.5	0,169	0,811	0,2084	392	0,835
Hy	A.1*R.6	0,471	0,811	0,5810	392	0,562
Hy	A.1*R.8	0,772	0,811	0,9516	392	0,342
Hy	A.1*R.9	0,435	0,811	0,5362	392	0,592
Hy	A.1*R.10	0,509	0,811	0,6278	392	0,530
Hy	A.1*R.11	0,980	0,811	1,2082	392	0,228
Hy	A.1*R.12	-0,416	0,883	-0,4717	392	0,637
Hy	A.1*R.13	-0,175	0,811	-0,2153	392	0,830
Hy	A.1*R.14	-1,550	0,883	-1,7564	392	0,080
Hy	A.1*R.15	0,418	0,883	0,4741	392	0,636
Hy	A.1*R.16	0,286	0,884	0,3231	392	0,747
Hy	A.1*R.17	-0,051	1,003	-0,0507	392	0,960
Hy	A.1*R.18	0,571	0,883	0,6472	392	0,518
Hy	A.1*R.19	0,622	0,811	0,7663	392	0,444
Hy	A.1*R.20	-1,964	0,811	-2,4207	392	0,016
Hy	A.1*R.21	-1,264	0,884	-1,4303	392	0,153
Hy	A.1*R.22	1,228	0,883	1,3907	392	0,165
Hy	A.1*R.23	1,135	0,883	1,2858	392	0,199
Hy	A.1*R.24	-3,003	0,811	-3,7016	392	0,000
Hy	A.1*R.25	-1,525	0,811	-1,8790	392	0,061
Hy	A.1*R.26	-0,270	0,811	-0,3334	392	0,739
Hy	A.1*R.27	1,215	0,811	1,4974	392	0,135
Hy	A.1*R.28	-2,343	0,811	-2,8870	392	0,004
Hy	A.1*R.29	-0,089	0,811	-0,1093	392	0,913
Hy	A.1*R.30	-1,354	0,883	-1,5345	392	0,126
Hy	A.1*R.31	1,428	0,811	1,7601	392	0,079
Hy	A.1*R.32	0,808	0,883	0,9153	392	0,361
Hy	A.1*R.33	0,777	0,811	0,9577	392	0,339
Hy	A.1*R.34	0,782	0,883	0,8861	392	0,376
Hy	A.1*R.36	1,017	0,811	1,2530	392	0,211
Hy	A.1*R.37	0,366	0,811	0,4507	392	0,652
Hy	A.1*R.38	1,421	0,884	1,6071	392	0,109

Hy	A.1*R.39	-0,289	0,883	-0,3279	392	0,743
Hy	A.1*R.40	-0,255	0,883	-0,2889	392	0,773
Hy	A.2*R.2	2,693	0,822	3,2764	392	0,001
Hy	A.2*R.4	3,615	0,822	4,3981	392	0,000
Hy	A.2*R.5	-0,777	0,822	-0,9448	392	0,345
Hy	A.2*R.6	-1,970	0,822	-2,3962	392	0,017
Hy	A.2*R.8	-0,772	0,822	-0,9388	392	0,348
Hy	A.2*R.9	-1,408	0,822	-1,7127	392	0,088
Hy	A.2*R.10	0,461	0,822	0,5607	392	0,575
Hy	A.2*R.11	-0,863	0,822	-1,0493	392	0,295
Hy	A.2*R.13	0,076	0,822	0,0924	392	0,926
Hy	A.2*R.16	-0,361	0,891	-0,4048	392	0,686
Hy	A.2*R.19	0,872	0,822	1,0613	392	0,289
Hy	A.2*R.20	1,576	0,822	1,9176	392	0,056
Hy	A.2*R.21	0,781	0,891	0,8758	392	0,382
Hy	A.2*R.24	0,537	0,822	0,6532	392	0,514
Hy	A.2*R.25	0,221	0,822	0,2693	392	0,788
Hy	A.2*R.26	0,578	0,822	0,7035	392	0,482
Hy	A.2*R.27	-0,927	0,822	-1,1278	392	0,260
Hy	A.2*R.28	0,301	0,822	0,3658	392	0,715
Hy	A.2*R.29	-1,034	0,822	-1,2584	392	0,209
Hy	A.2*R.31	-0,415	0,822	-0,5046	392	0,614
Hy	A.2*R.33	-0,767	0,822	-0,9328	392	0,352
Hy	A.2*R.36	-0,527	0,822	-0,6413	392	0,522
Hy	A.2*R.37	1,513	0,822	1,8412	392	0,066
Hy	A.2*R.38	-1,918	0,891	-2,1514	392	0,032
Hy	A.3*R.1	-1,432	1,003	-1,4276	392	0,154
Hy	A.3*R.2	-1,150	0,812	-1,4158	392	0,158
Hy	A.3*R.3	0,107	0,883	0,1216	392	0,903
Hy	A.3*R.4	-0,527	0,812	-0,6485	392	0,517
Hy	A.3*R.5	1,960	0,812	2,4140	392	0,016
Hy	A.3*R.6	-0,429	0,812	-0,5286	392	0,597
Hy	A.3*R.8	1,666	0,812	2,0517	392	0,041
Hy	A.3*R.9	1,628	0,812	2,0049	392	0,046
Hy	A.3*R.10	0,506	0,812	0,6232	392	0,534
Hy	A.3*R.11	0,977	0,812	1,2032	392	0,230
Hy	A.3*R.12	-0,719	0,883	-0,8140	392	0,416
Hy	A.3*R.13	-1,673	0,812	-2,0608	392	0,040
Hy	A.3*R.14	0,241	0,883	0,2727	392	0,785
Hy	A.3*R.15	0,116	0,883	0,1314	392	0,896
Hy	A.3*R.17	-0,652	1,003	-0,6502	392	0,516

Hy	A.3*R.18	-2,423	0,883	-2,7439	392	0,006
Hy	A.3*R.19	-1,475	0,812	-1,8166	392	0,070
Hy	A.3*R.20	-0,472	0,812	-0,5815	392	0,561
Hy	A.3*R.21	0,527	0,884	0,5954	392	0,552
Hy	A.3*R.22	-1,168	0,883	-1,3233	392	0,187
Hy	A.3*R.23	-0,364	0,883	-0,4120	392	0,681
Hy	A.3*R.24	2,676	0,812	3,2951	392	0,001
Hy	A.3*R.25	0,566	0,812	0,6965	392	0,487
Hy	A.3*R.26	-0,274	0,812	-0,3373	392	0,736
Hy	A.3*R.27	-0,583	0,812	-0,7178	392	0,473
Hy	A.3*R.28	-1,150	0,812	-1,4158	392	0,158
Hy	A.3*R.29	1,403	0,812	1,7282	392	0,085
Hy	A.3*R.30	1,633	0,883	1,8492	392	0,065
Hy	A.3*R.31	-1,267	0,812	-1,5602	392	0,120
Hy	A.3*R.32	-0,093	0,883	-0,1050	392	0,916
Hy	A.3*R.33	-0,123	0,812	-0,1521	392	0,879
Hy	A.3*R.34	0,480	0,883	0,5432	392	0,587
Hy	A.3*R.36	0,116	0,812	0,1430	392	0,886
Hy	A.3*R.37	0,661	0,812	0,8145	392	0,416
Hy	A.3*R.38	0,819	0,884	0,9262	392	0,355
Hy	A.3*R.39	0,604	0,883	0,6845	392	0,494
Hy	A.3*R.40	0,340	0,883	0,3848	392	0,701
Hy	A.4*R.2	-0,484	0,814	-0,5947	392	0,552
Hy	A.4*R.3	0,175	0,884	0,1979	392	0,843
Hy	A.4*R.4	-1,655	0,814	-2,0347	392	0,043
Hy	A.4*R.5	-0,365	0,814	-0,4485	392	0,654
Hy	A.4*R.6	1,433	0,814	1,7613	392	0,079
Hy	A.4*R.8	-0,958	0,814	-1,1776	392	0,240
Hy	A.4*R.9	-0,398	0,814	-0,4891	392	0,625
Hy	A.4*R.10	-1,520	0,814	-1,8682	392	0,062
Hy	A.4*R.11	-0,451	0,814	-0,5541	392	0,580
Hy	A.4*R.12	0,545	0,884	0,6165	392	0,538
Hy	A.4*R.13	1,385	0,814	1,7024	392	0,089
Hy	A.4*R.14	0,607	0,884	0,6870	392	0,492
Hy	A.4*R.15	-1,013	0,884	-1,1453	392	0,253
Hy	A.4*R.16	-0,547	0,886	-0,6178	392	0,537
Hy	A.4*R.18	1,234	0,884	1,3952	392	0,164
Hy	A.4*R.19	0,088	0,814	0,1080	392	0,914
Hy	A.4*R.20	0,194	0,814	0,2380	392	0,812
Hy	A.4*R.22	0,694	0,884	0,7844	392	0,433
Hy	A.4*R.23	-1,193	0,884	-1,3497	392	0,178

Hy	A.4*R.24	0,650	0,814	0,7986	392	0,425
Hy	A.4*R.25	1,231	0,814	1,5135	392	0,131
Hy	A.4*R.26	-0,206	0,814	-0,2535	392	0,800
Hy	A.4*R.27	0,681	0,814	0,8372	392	0,403
Hy	A.4*R.28	3,105	0,814	3,8167	392	0,000
Hy	A.4*R.29	-0,324	0,814	-0,3977	392	0,691
Hy	A.4*R.30	-0,393	0,884	-0,4445	392	0,657
Hy	A.4*R.31	0,296	0,814	0,3639	392	0,716
Hy	A.4*R.32	-1,221	0,884	-1,3813	392	0,168
Hy	A.4*R.33	0,542	0,814	0,6666	392	0,505
Hy	A.4*R.34	-0,649	0,884	-0,7340	392	0,463
Hy	A.4*R.36	-0,714	0,814	-0,8771	392	0,381
Hy	A.4*R.37	-2,262	0,814	-2,7801	392	0,006
Hy	A.4*R.39	0,074	0,884	0,0836	392	0,933
Hy	A.4*R.40	0,108	0,884	0,1225	392	0,903

ANEXO X. Aptitud combinatoria específica de los híbridos AxR para la variable altura de planta.

ALTURA DE PLANTA						
Tipo	Cruza	ACE	sd	t_calc	df	pval
Hy	A.1*R.1	2,060	9,751	0,211	392	0,833
Hy	A.1*R.2	6,149	7,584	0,811	392	0,418
Hy	A.1*R.3	2,451	8,436	0,290	392	0,772
Hy	A.1*R.4	-4,483	7,584	-0,591	392	0,555
Hy	A.1*R.5	-5,864	7,584	-0,773	392	0,440
Hy	A.1*R.6	-5,147	7,584	-0,679	392	0,498
Hy	A.1*R.8	-14,052	7,584	-1,853	392	0,065
Hy	A.1*R.9	3,236	7,584	0,427	392	0,670
Hy	A.1*R.10	11,994	7,584	1,581	392	0,115
Hy	A.1*R.11	-1,595	7,584	-0,210	392	0,834
Hy	A.1*R.12	1,053	8,436	0,125	392	0,901
Hy	A.1*R.13	2,384	7,584	0,314	392	0,753
Hy	A.1*R.14	-5,776	8,436	-0,685	392	0,494
Hy	A.1*R.15	2,297	8,436	0,272	392	0,786
Hy	A.1*R.16	-4,216	8,451	-0,499	392	0,618
Hy	A.1*R.17	5,655	9,751	0,580	392	0,562
Hy	A.1*R.18	-2,801	8,436	-0,332	392	0,740
Hy	A.1*R.19	-3,606	7,584	-0,476	392	0,635
Hy	A.1*R.20	-1,082	7,584	-0,143	392	0,887
Hy	A.1*R.21	-9,229	8,448	-1,092	392	0,275
Hy	A.1*R.22	1,379	8,436	0,163	392	0,870
Hy	A.1*R.23	11,982	8,436	1,420	392	0,156
Hy	A.1*R.24	-29,575	7,584	-3,899	392	0,000
Hy	A.1*R.25	-0,439	7,584	-0,058	392	0,954
Hy	A.1*R.26	2,596	7,584	0,342	392	0,732
Hy	A.1*R.27	8,073	7,584	1,064	392	0,288
Hy	A.1*R.28	-6,507	7,584	-0,858	392	0,391
Hy	A.1*R.29	22,750	7,584	3,000	392	0,003
Hy	A.1*R.30	-4,288	8,436	-0,508	392	0,612
Hy	A.1*R.31	7,670	7,584	1,011	392	0,312
Hy	A.1*R.32	0,811	8,436	0,096	392	0,924
Hy	A.1*R.33	3,408	7,584	0,449	392	0,653
Hy	A.1*R.34	0,225	8,436	0,027	392	0,979
Hy	A.1*R.36	9,722	7,584	1,282	392	0,201
Hy	A.1*R.37	-5,986	7,584	-0,789	392	0,430
Hy	A.1*R.38	6,570	8,448	0,778	392	0,437

Hy	A.1*R.39	1,468	8,436	0,174	392	0,862
Hy	A.1*R.40	0,169	8,436	0,020	392	0,984
Hy	A.2*R.2	1,006	7,692	0,131	392	0,896
Hy	A.2*R.4	-2,979	7,692	-0,387	392	0,699
Hy	A.2*R.5	-2,034	7,692	-0,264	392	0,792
Hy	A.2*R.6	7,324	7,692	0,952	392	0,342
Hy	A.2*R.8	-0,585	7,692	-0,076	392	0,939
Hy	A.2*R.9	-6,560	7,692	-0,853	392	0,394
Hy	A.2*R.10	21,141	7,692	2,748	392	0,006
Hy	A.2*R.11	-6,738	7,692	-0,876	392	0,382
Hy	A.2*R.13	7,211	7,692	0,937	392	0,349
Hy	A.2*R.16	5,928	8,525	0,695	392	0,487
Hy	A.2*R.19	12,520	7,692	1,628	392	0,104
Hy	A.2*R.20	-20,515	7,692	-2,667	392	0,008
Hy	A.2*R.21	15,538	8,524	1,823	392	0,069
Hy	A.2*R.24	17,459	7,692	2,270	392	0,024
Hy	A.2*R.25	8,708	7,692	1,132	392	0,258
Hy	A.2*R.26	7,423	7,692	0,965	392	0,335
Hy	A.2*R.27	-6,043	7,692	-0,786	392	0,433
Hy	A.2*R.28	-2,013	7,692	-0,262	392	0,794
Hy	A.2*R.29	-81,098	7,692	-10,543	392	0,000
Hy	A.2*R.31	-12,096	7,692	-1,573	392	0,117
Hy	A.2*R.33	10,229	7,692	1,330	392	0,184
Hy	A.2*R.36	-7,053	7,692	-0,917	392	0,360
Hy	A.2*R.37	4,490	7,692	0,584	392	0,560
Hy	A.2*R.38	0,098	8,524	0,011	392	0,991
Hy	A.3*R.1	1,514	9,753	0,155	392	0,877
Hy	A.3*R.2	-9,020	7,591	-1,188	392	0,235
Hy	A.3*R.3	-13,051	8,440	-1,546	392	0,123
Hy	A.3*R.4	-5,694	7,591	-0,750	392	0,454
Hy	A.3*R.5	2,231	7,591	0,294	392	0,769
Hy	A.3*R.6	8,930	7,591	1,176	392	0,240
Hy	A.3*R.8	-5,625	7,591	-0,741	392	0,459
Hy	A.3*R.9	-11,268	7,591	-1,484	392	0,138
Hy	A.3*R.10	19,424	7,591	2,559	392	0,011
Hy	A.3*R.11	-1,809	7,591	-0,238	392	0,812
Hy	A.3*R.12	-0,490	8,440	-0,058	392	0,954
Hy	A.3*R.13	-2,150	7,591	-0,283	392	0,777
Hy	A.3*R.14	-0,340	8,440	-0,040	392	0,968
Hy	A.3*R.15	-3,234	8,440	-0,383	392	0,702
Hy	A.3*R.17	-0,873	9,753	-0,090	392	0,929

Hy	A.3*R.18	-4,012	8,440	-0,475	392	0,635
Hy	A.3*R.19	-4,817	7,591	-0,635	392	0,526
Hy	A.3*R.20	4,354	7,591	0,574	392	0,567
Hy	A.3*R.21	5,180	8,453	0,613	392	0,540
Hy	A.3*R.22	11,468	8,440	1,359	392	0,175
Hy	A.3*R.23	11,769	8,440	1,394	392	0,164
Hy	A.3*R.24	15,409	7,591	2,030	392	0,043
Hy	A.3*R.25	-6,635	7,591	-0,874	392	0,383
Hy	A.3*R.26	-3,600	7,591	-0,474	392	0,636
Hy	A.3*R.27	-3,108	7,591	-0,409	392	0,682
Hy	A.3*R.28	2,252	7,591	0,297	392	0,767
Hy	A.3*R.29	17,884	7,591	2,356	392	0,019
Hy	A.3*R.30	-6,496	8,440	-0,770	392	0,442
Hy	A.3*R.31	2,472	7,591	0,326	392	0,745
Hy	A.3*R.32	-0,068	8,440	-0,008	392	0,994
Hy	A.3*R.33	-0,129	7,591	-0,017	392	0,986
Hy	A.3*R.34	0,344	8,440	0,041	392	0,968
Hy	A.3*R.36	4,191	7,591	0,552	392	0,581
Hy	A.3*R.37	13,075	7,591	1,723	392	0,086
Hy	A.3*R.38	4,695	8,453	0,555	392	0,579
Hy	A.3*R.39	13,218	8,440	1,566	392	0,118
Hy	A.3*R.40	-5,695	8,440	-0,675	392	0,500
Hy	A.4*R.2	2,339	7,607	0,307	392	0,759
Hy	A.4*R.3	9,939	8,453	1,176	392	0,240
Hy	A.4*R.4	0,347	7,607	0,046	392	0,964
Hy	A.4*R.5	8,272	7,607	1,087	392	0,278
Hy	A.4*R.6	-1,314	7,607	-0,173	392	0,863
Hy	A.4*R.8	0,415	7,607	0,055	392	0,956
Hy	A.4*R.9	-4,562	7,607	-0,600	392	0,549
Hy	A.4*R.10	-83,210	7,607	-10,938	392	0,000
Hy	A.4*R.11	5,561	7,607	0,731	392	0,465
Hy	A.4*R.12	7,212	8,453	0,853	392	0,394
Hy	A.4*R.13	2,893	7,607	0,380	392	0,704
Hy	A.4*R.14	7,030	8,453	0,832	392	0,406
Hy	A.4*R.15	-2,179	8,453	-0,258	392	0,797
Hy	A.4*R.16	6,263	8,467	0,740	392	0,460
Hy	A.4*R.18	13,329	8,453	1,577	392	0,116
Hy	A.4*R.19	3,218	7,607	0,423	392	0,673
Hy	A.4*R.20	5,078	7,607	0,667	392	0,505
Hy	A.4*R.22	1,224	8,453	0,145	392	0,885
Hy	A.4*R.23	-41,347	8,453	-4,891	392	0,000

Hy	A.4*R.24	-27,403	7,607	-3,602	392	0,000
Hy	A.4*R.25	4,391	7,607	0,577	392	0,564
Hy	A.4*R.26	3,770	7,607	0,496	392	0,620
Hy	A.4*R.27	3,930	7,607	0,517	392	0,606
Hy	A.4*R.28	8,625	7,607	1,134	392	0,258
Hy	A.4*R.29	14,619	7,607	1,922	392	0,055
Hy	A.4*R.30	5,527	8,453	0,654	392	0,514
Hy	A.4*R.31	4,857	7,607	0,638	392	0,524
Hy	A.4*R.32	6,970	8,453	0,825	392	0,410
Hy	A.4*R.33	-5,055	7,607	-0,664	392	0,507
Hy	A.4*R.34	4,058	8,453	0,480	392	0,631
Hy	A.4*R.36	-0,735	7,607	-0,097	392	0,923
Hy	A.4*R.37	4,161	7,607	0,547	392	0,585
Hy	A.4*R.39	-3,008	8,453	-0,356	392	0,722
Hy	A.4*R.40	3,669	8,453	0,434	392	0,664

ANEXO XI. Aptitud combinatoria específica de los híbridos AxR para la variable excersión de panoja.

EXCERSIÓN DE PANOJA						
Tipo	Cruza	ACE	sd	t_calc	df	pval
Hy	A.1*R.1	-2,217	2,095	-1,058	392	0,291
Hy	A.1*R.2	-3,132	1,798	-1,742	392	0,082
Hy	A.1*R.3	3,774	1,924	1,961	392	0,051
Hy	A.1*R.4	1,660	1,798	0,923	392	0,357
Hy	A.1*R.5	-1,724	1,798	-0,958	392	0,338
Hy	A.1*R.6	-1,225	1,798	-0,681	392	0,496
Hy	A.1*R.8	0,116	1,798	0,065	392	0,949
Hy	A.1*R.9	-2,598	1,798	-1,445	392	0,149
Hy	A.1*R.10	-1,824	1,798	-1,014	392	0,311
Hy	A.1*R.11	-0,814	1,798	-0,453	392	0,651
Hy	A.1*R.12	-0,855	1,924	-0,444	392	0,657
Hy	A.1*R.13	-3,201	1,798	-1,780	392	0,076
Hy	A.1*R.14	-3,322	1,924	-1,727	392	0,085
Hy	A.1*R.15	-0,896	1,924	-0,466	392	0,642
Hy	A.1*R.16	-4,665	1,926	-2,422	392	0,016
Hy	A.1*R.17	-2,716	2,095	-1,296	392	0,196
Hy	A.1*R.18	-1,181	1,924	-0,614	392	0,540
Hy	A.1*R.19	4,990	1,798	2,775	392	0,006
Hy	A.1*R.20	1,147	1,798	0,638	392	0,524
Hy	A.1*R.21	-1,667	1,925	-0,866	392	0,387
Hy	A.1*R.22	11,521	1,924	5,988	392	0,000
Hy	A.1*R.23	-2,428	1,924	-1,262	392	0,208
Hy	A.1*R.24	9,097	1,798	5,059	392	0,000
Hy	A.1*R.25	1,519	1,798	0,845	392	0,399
Hy	A.1*R.26	3,995	1,798	2,222	392	0,027
Hy	A.1*R.27	-2,170	1,798	-1,207	392	0,228
Hy	A.1*R.28	-4,110	1,798	-2,286	392	0,023
Hy	A.1*R.29	-2,650	1,798	-1,474	392	0,141
Hy	A.1*R.30	-3,915	1,924	-2,035	392	0,043
Hy	A.1*R.31	3,070	1,798	1,707	392	0,089
Hy	A.1*R.32	-4,608	1,924	-2,395	392	0,017
Hy	A.1*R.33	-0,334	1,798	-0,185	392	0,853
Hy	A.1*R.34	-0,038	1,924	-0,020	392	0,984
Hy	A.1*R.36	7,756	1,798	4,313	392	0,000
Hy	A.1*R.37	2,429	1,798	1,351	392	0,178
Hy	A.1*R.38	6,266	1,925	3,254	392	0,001

Hy	A.1*R.39	2,468	1,924	1,283	392	0,200
Hy	A.1*R.40	-2,589	1,924	-1,346	392	0,179
Hy	A.2*R.2	2,782	1,829	1,521	392	0,129
Hy	A.2*R.4	-4,827	1,829	-2,639	392	0,009
Hy	A.2*R.5	-2,010	1,829	-1,099	392	0,272
Hy	A.2*R.6	2,405	1,829	1,315	392	0,189
Hy	A.2*R.8	-1,476	1,829	-0,807	392	0,420
Hy	A.2*R.9	-2,885	1,829	-1,577	392	0,116
Hy	A.2*R.10	1,805	1,829	0,987	392	0,324
Hy	A.2*R.11	-1,753	1,829	-0,958	392	0,338
Hy	A.2*R.13	2,060	1,829	1,126	392	0,261
Hy	A.2*R.16	1,249	1,952	0,640	392	0,522
Hy	A.2*R.19	7,967	1,829	4,355	392	0,000
Hy	A.2*R.20	-4,035	1,829	-2,206	392	0,028
Hy	A.2*R.21	-0,975	1,952	-0,500	392	0,618
Hy	A.2*R.24	-2,612	1,829	-1,428	392	0,154
Hy	A.2*R.25	-5,947	1,829	-3,251	392	0,001
Hy	A.2*R.26	-0,860	1,829	-0,470	392	0,638
Hy	A.2*R.27	-4,741	1,829	-2,592	392	0,010
Hy	A.2*R.28	0,172	1,829	0,094	392	0,925
Hy	A.2*R.29	-0,326	1,829	-0,178	392	0,859
Hy	A.2*R.31	-2,438	1,829	-1,333	392	0,183
Hy	A.2*R.33	0,685	1,829	0,375	392	0,708
Hy	A.2*R.36	0,942	1,829	0,515	392	0,607
Hy	A.2*R.37	-2,427	1,829	-1,327	392	0,185
Hy	A.2*R.38	1,736	1,952	0,890	392	0,374
Hy	A.3*R.1	1,001	2,096	0,477	392	0,633
Hy	A.3*R.2	-0,568	1,800	-0,315	392	0,753
Hy	A.3*R.3	-4,758	1,925	-2,471	392	0,014
Hy	A.3*R.4	1,287	1,800	0,715	392	0,475
Hy	A.3*R.5	3,452	1,800	1,918	392	0,056
Hy	A.3*R.6	-1,597	1,800	-0,887	392	0,375
Hy	A.3*R.8	-2,867	1,800	-1,593	392	0,112
Hy	A.3*R.9	-1,992	1,800	-1,106	392	0,269
Hy	A.3*R.10	-1,871	1,800	-1,039	392	0,299
Hy	A.3*R.11	1,098	1,800	0,610	392	0,542
Hy	A.3*R.12	-0,575	1,925	-0,299	392	0,765
Hy	A.3*R.13	-0,637	1,800	-0,354	392	0,724
Hy	A.3*R.14	-1,737	1,925	-0,902	392	0,368
Hy	A.3*R.15	-3,553	1,925	-1,846	392	0,066
Hy	A.3*R.17	-3,415	2,096	-1,629	392	0,104

Hy	A.3*R.18	-5,144	1,925	-2,672	392	0,008
Hy	A.3*R.19	0,374	1,800	0,208	392	0,835
Hy	A.3*R.20	0,448	1,800	0,249	392	0,804
Hy	A.3*R.21	5,466	1,927	2,837	392	0,005
Hy	A.3*R.22	5,274	1,925	2,739	392	0,006
Hy	A.3*R.23	7,316	1,925	3,800	392	0,000
Hy	A.3*R.24	-1,066	1,800	-0,592	392	0,554
Hy	A.3*R.25	9,632	1,800	5,351	392	0,000
Hy	A.3*R.26	4,602	1,800	2,556	392	0,011
Hy	A.3*R.27	9,532	1,800	5,296	392	0,000
Hy	A.3*R.28	-0,893	1,800	-0,496	392	0,620
Hy	A.3*R.29	0,567	1,800	0,315	392	0,753
Hy	A.3*R.30	-2,983	1,925	-1,549	392	0,122
Hy	A.3*R.31	-5,135	1,800	-2,853	392	0,005
Hy	A.3*R.32	-2,370	1,925	-1,231	392	0,219
Hy	A.3*R.33	-0,054	1,800	-0,030	392	0,976
Hy	A.3*R.34	-3,675	1,925	-1,909	392	0,057
Hy	A.3*R.36	-6,324	1,800	-3,513	392	0,000
Hy	A.3*R.37	9,236	1,800	5,131	392	0,000
Hy	A.3*R.38	-1,613	1,927	-0,837	392	0,403
Hy	A.3*R.39	-1,168	1,925	-0,607	392	0,544
Hy	A.3*R.40	2,913	1,925	1,513	392	0,131
Hy	A.4*R.2	1,074	1,805	0,595	392	0,552
Hy	A.4*R.3	1,779	1,930	0,922	392	0,357
Hy	A.4*R.4	2,276	1,805	1,261	392	0,208
Hy	A.4*R.5	0,198	1,805	0,110	392	0,913
Hy	A.4*R.6	-1,588	1,805	-0,880	392	0,380
Hy	A.4*R.8	-0,900	1,805	-0,498	392	0,618
Hy	A.4*R.9	2,587	1,805	1,433	392	0,153
Hy	A.4*R.10	-4,798	1,805	-2,658	392	0,008
Hy	A.4*R.11	3,066	1,805	1,698	392	0,090
Hy	A.4*R.12	-2,197	1,930	-1,138	392	0,256
Hy	A.4*R.13	3,615	1,805	2,003	392	0,046
Hy	A.4*R.14	-0,422	1,930	-0,218	392	0,827
Hy	A.4*R.15	1,678	1,930	0,870	392	0,385
Hy	A.4*R.16	-0,459	1,932	-0,238	392	0,812
Hy	A.4*R.18	2,698	1,930	1,398	392	0,163
Hy	A.4*R.19	-5,490	1,805	-3,042	392	0,003
Hy	A.4*R.20	-2,806	1,805	-1,555	392	0,121
Hy	A.4*R.22	-7,444	1,930	-3,858	392	0,000
Hy	A.4*R.23	-1,812	1,930	-0,939	392	0,348

Hy	A.4*R.24	-3,341	1,805	-1,851	392	0,065
Hy	A.4*R.25	5,399	1,805	2,991	392	0,003
Hy	A.4*R.26	-5,179	1,805	-2,869	392	0,004
Hy	A.4*R.27	-3,186	1,805	-1,765	392	0,078
Hy	A.4*R.28	2,706	1,805	1,499	392	0,135
Hy	A.4*R.29	-0,076	1,805	-0,042	392	0,966
Hy	A.4*R.30	5,838	1,930	3,026	392	0,003
Hy	A.4*R.31	0,096	1,805	0,053	392	0,957
Hy	A.4*R.32	4,493	1,930	2,328	392	0,020
Hy	A.4*R.33	3,220	1,805	1,784	392	0,075
Hy	A.4*R.34	-1,054	1,930	-0,546	392	0,585
Hy	A.4*R.36	2,824	1,805	1,564	392	0,119
Hy	A.4*R.37	3,045	1,805	1,687	392	0,092
Hy	A.4*R.39	-0,506	1,930	-0,262	392	0,793
Hy	A.4*R.40	-2,952	1,930	-1,530	392	0,127