



**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO**

**DESARROLLO DE CULTIVARES NACIONALES DE ESPÁRRAGO:
DIVERGENCIA Y HETEROSIS PARA CARACTERES ASOCIADOS A LA
PRODUCTIVIDAD**

ING. AGR. LUCÍA DOLORES AMATO

TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS

**DIRECTORES: Dr. Fernando S. López-Anido
Dra. Eugenia A. Martin**

AÑO 2022

**DESARROLLO DE CULTIVARES NACIONALES DE ESPÁRRAGO:
DIVERGENCIA Y HETEROSIS PARA CARACTERES ASOCIADOS A LA
PRODUCTIVIDAD**

Lucía Dolores Amato

Ingeniera Agrónoma – Universidad Nacional de Rosario

Esta Tesis es presentada como parte de los requisitos para optar al grado académico de Doctor en Ciencias Agrarias, 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 el Instituto de Investigaciones en Ciencias Agrarias de Rosario (IICAR-CONICET), Facultad de Ciencias Agrarias UNR, durante el período comprendido entre abril de 2017 y octubre 2022, bajo la dirección del Dr. Fernando S. López-Anido y la Dra. Eugenia A. Martin.

Nombre y firma del Doctorando: Ing.Agr Amato Lucía Dolores



Nombre y firma del Director: Dra. Eugenia A. Martin



Defendida 13 de abril de 2023

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Fernando López-Anido, por haber compartido conmigo este hermoso plan de tesis, por haberme enseñado siempre a través del ejemplo, por ayudarme a la par, por tantas horas compartidas en el campo, por su calidez, comprensión, empatía, respeto y escucha.

A la Dra. Eugenia Martín, por guiarme y acompañarme en mi formación, por enseñarme el mundo del laboratorio y la evaluación molecular, por haberme apoyado, respetado, alentado y sostenido en todo momento.

A la Dra. Vanina Cravero, que se comprometió y aportó sus conocimientos y experiencias para que la tesis culmine de la mejor manera.

A todos mis allegados becarios e investigadores de IICAR, a quienes siempre estaré agradecida por hacer que cada día de trabajo sea un placer. Gracias Genetic girls, Agustina Fornuty, Dana Vazquez, Mara Depetris, Melisa Di Giacomo y Ana Paula del Médico, por haber formado esta amistad tan linda. Gracias Aldana Zayas, por haberme enseñado tanto en el laboratorio, siempre dispuesta y alentando mi trabajo. Muchas gracias Florencia Pozzi, Tatiana, Heliana, Franco, Federico, Vladimir, Paolo, Gustavo.

A David Balabán y Rodolfo Grasso, por haberme apoyado durante todas las actividades de campo; por sobre todo acompañarme en la cosecha plena pandemia, hubiese sido muy difícil sin su ayuda.

A mis compañeros en la cátedra de Química General e Inorgánica – FCA UNR, Micaela Mancini, Ana María Liberatti, Paula Almirón, Natalia Mosconi, Agustina Lazzarini, Federico Rúa y Gustavo Giuntoli. Gracias por acompañarme en esta etapa de formación y enseñarme tanto de la docencia, profesión que quiero mucho también gracias a ustedes.

A mi familia, a mis amigas de la vida, a mi novio y a mis afectos más íntimos, realmente gracias por ser mi sostén incondicional. Todas mis fuerzas son gracias a ustedes.

DEDICATORIA

A mis abuelos Lola y Pinucho,
a mi director Fernando.

PUBLICACIONES

- Amato, L.D.; Martin, E.A.; López-Anido, F.S. 2022. Combining Ability and Heterosis for Market Yield in Green Asparagus. *Horticulturae* 2022, 8, 489. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8060489>.
- Amato, L.D.; López-Anido, F.S.; Zayas, A.; Martin, E.A. 2021. Genetic resources in asparagus: diversity and relationships in a collection from different origins and breeding status. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 51:1, 69-80 DOI: 10.1080/01140671.2021.1940217.

PRESENTACIONES A CONGRESOS

- VII Jornada de Ciencia y Tecnología de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNR. I Reunión Argentina – Chile de Ciencias Agrarias. 2022. EVALUACIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS EN ESPÁRRAGO.
- VII Jornada de Ciencia y Tecnología de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNR. I Reunión Argentina – Chile de Ciencias Agrarias. 2022. EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CULTIVARES DE ESPÁRRAGO VERDE EN LOS TRES PRIMEROS AÑOS PRODUCTIVOS.
- 41º Congreso Argentino de Horticultura. 2021. ASOCIACIONES ENTRE DISTINTOS CARACTERES VEGETATIVOS Y PRODUCTIVOS DE ESPÁRRAGO VERDE.
- 41º Congreso Argentino de Horticultura. 2021. HETEROSIS PARA RENDIMIENTO COMERCIAL EN ESPÁRRAGO VERDE.
- IV Reunión Conjunta de las Sociedades de Biología de la República Argentina. 2020. EVALUACIÓN DE CULTIVARES EXPERIMENTALES DE ESPÁRRAGO VERDE – CARACTERES PRODUCTIVOS Y HETEROSIS.
- XVII Congreso Latinoamericano de Genética, XLVII Congreso Argentino de Genética, LII Reunión Anual de la Sociedad de Genética de Chile, VI Congreso de la Sociedad Uruguaya de Genética, V Congreso Latinoamericano de Genética Humana y V Simposio Latinoamericano de Citogenética y Evolución (ALAG/2019). 2019. EVALUACIÓN DE DIVERGENCIA GENÉTICA EN *Asparagus* MEDIANTE MARCADORES MOLECULARES SRAP (Sequence-Related Amplified Polymorphism).
- XX Congreso y XXXVIII Reunión Anual de la Sociedad de Biología de Rosario. Tipo de Reunión: Investigación/Educativa/Técnica. 2018. ANÁLISIS DE LA

VARIABILIDAD GENÉTICA DE 25 ACCESIONES DE *Asparagus* A TRAVÉS DE
MARCADORES MOLECULARES SRAP.

ÍNDICE

	Página
ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS	i
RESUMEN	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUCCIÓN	1
HIPÓTESIS	16
OBJETIVOS (General y específicos)	16
2. MATERIALES Y MÉTODOS	17
- EVALUACIÓN FENOTÍPICA	17
Material Vegetal	17
Cruzamientos	18
Diseño experimental de los cruzamientos dialélicos	21
Siembra	23
Almácigos	24
Transplante a campo – Diseño de lotes	25
Mantenimiento de lotes	26
Reposición de plantas	26
Cosecha	27
Caracterización Fenotípica	28
- ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS FENOTÍPICOS	33
Normalidad de los datos	33
Análisis de la variancia	33
Prueba de comparación de valores medios	33
Cálculo de la heterosis con respecto al mejor padre	34

Cálculo de la heterosis útil	34
Evaluación de la aptitud combinatoria general (ACG) y la aptitud combinatoria específica (ACE)	34
Análisis de Componentes Principales	35
Análisis Modelo SREG	36
Sexado: cuantificación de plantas femeninas y masculinas	36
- EVALUACIÓN GENOTÍPICA	37
Material Vegetal	37
Extracción de ADN	38
Evaluación con marcadores SRAP	39
Registro (scoring) y Análisis estadístico de los datos genotípicos	40
- EVALUACIÓN CONJUNTA DE DATOS FENOTÍPICOS Y GENOTÍPICOS	41
Análisis de Procrustes	41
- CORRELACIÓN ENTRE HETEROSIS Y DISTANCIA GENÉTICA	41
3. RESULTADOS	42
- EVALUACIÓN FENOTÍPICA	42
Prueba de comparación de valores medios	42
Normalidad de los datos	49
Sexado de las plantas	49
Análisis de la variancia	49
Heterosis con respecto al mejor padre	52
Heterosis útil	56
Evaluación de ACG y ACE	59
Análisis de Componentes Principales	65
Análisis Modelo SREG	74
- EVALUACIÓN GENOTÍPICA	92
Análisis de Distancias genéticas, Coordenadas principales y conglomerados	94

- EVALUACIÓN CONJUNTA DE DATOS FENOTÍPICOS Y GENOTÍPICOS	100
Análisis de Procrustes	100
- CORRELACIÓN ENTRE HETEROSIS Y DISTANCIA GENÉTICA	107
4. DISCUSIÓN	109
5. CONCLUSIONES	126
BIBLIOGRAFÍA	128
ANEXO	141
Anexo 1	141
Normalidad de los datos	141
Anexo 2	142
Sexado de las plantas	142
Anexo 3	144
Análisis de la variancia por Set dialélico, salidas del programa estadístico SAS (2001)	144
Anexo 4	151
Evaluación de ACG y ACE. Método de Griffing II, modelo 1. Por Set y Carácter evaluado	151
Anexo 5	171
Datos de scoring por combinación de cebador en las accesiones evaluadas	171

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

%: por ciento

% (p/v): porcentaje de peso sobre volumen.

% H: porcentaje de heterosis.

% HU: porcentaje de heterosis útil.

°C: grados Celsius

α: alfa, nivel de significancia de las pruebas para los análisis estadísticos.

μl: microlitros.

μM: micromoles.

ACE: aptitud combinatoria específica.

ACG: aptitud combinatoria general.

ACP: análisis de componentes principales.

ACooP: análisis de coordenadas principales.

ADN: ácido desoxirribonucleico.

AFLP: Amplified Fragment Length Polymorphism. Polimorfismos en la longitud de fragmentos amplificados.

Alt1ramif: altura a la primera ramificación.

AltPI: altura de planta.

ARM: árbol de recorridos mínimos.

Bases nitrogenadas: **A** (adenina), **T** (timina), **C** (citosina) y **G** (guanina).

cm: centímetros.

cM: centimorgan.

CM: cuadrado medio.

CP: componente principal.

Ct: calidad del turión.

CTAB: bromuro de hexadeciltrimetilamonio.

Dt: diámetro del turión (calibre).

dNTP: desoxirribonucleótido trifosfato.

EDTA: ácido etilendiaminotetraacético.

EEUU: Estados Unidos.

GBS: Genotyping By Sequencing. Genotipado por secuenciación.

g: gramos.

gl: grados de libertad.

g/L: gramos por litro.

GGE: Genotype and Genotype-Environment interaction / Genotipo e interacción Genotipo-Ambiente.

ha: hectáreas.

ID: identificación.

kg: kilogramos.

m: metros.

min: minutos

ml: mililitros.

mm: milímetros.

mM: milimoles.

Npp: número de plantas por parcela.

Nt: número de turiones.

Ntc: número de turiones comerciales.

PCR: Polymerase Chain Reaction.
Reacción en cadena de la polimerasa.

RAPD: Random Amplification of
Polymorphic DNA. Fragmentos
polimórficos amplificados al azar.

RFLP: Restriction Fragment Length
Polymorphism. Polimorfismos en la
longitud de los fragmentos de restricción.

pb: pares de bases.

PIC: contenido de información polimórfica.

Pt: peso del turión.

RendC: rendimiento comercial.

RendT: rendimiento total.

rpm: revoluciones por minuto.

SD: coeficiente de Dice.

SNP: Single Nucleotide Polymorphism.
Polimorfismos de un solo nucleótido.

SRAP: Sequence Related Amplified
Polymorphism. Polimorfismos
amplificados de secuencias relacionadas.

SREG: Modelo de Regresión por sitios.

SSR: Simple Sequence Repeat
Polymorphism. Microsatélites.

t: toneladas.

Tris: tris(hidroximetil)aminometano.

TBE: disolución tampón formada por tris,
borato y EDTA.

tt/pl: turiones totales por planta.

tc/pl: turiones comerciales por planta.

W: Watt

RESUMEN

El espárrago cultivado, *Asparagus officinalis* L., es una especie monocotiledónea, diploide ($2n=20$), perenne y dioica. Actualmente es cultivada en todo el mundo, para su consumo en fresco, congelado y enlatado; y se encuentra en una nueva etapa de expansión que responde a la demanda de alimentos con calidad nutricional. Si bien Argentina se ubica dentro de los 15 países con mayor producción de espárrago, su productividad ha permanecido estable, sin incrementos del rendimiento en los últimos 30 años. A lo largo del mejoramiento de esta especie se han desarrollado diferentes tipos de materiales, buscando aumentar el rendimiento y la uniformidad del cultivo; sin embargo, los mismos cultivares permanecen en producción hace varias décadas. Alcanzar niveles de producción competentes a nivel mundial, exige la no reproducción rutinaria de materiales introducidos; y mantener un progreso continuado, basado en el mejoramiento genético y la adaptación local del cultivo. En este contexto, se ha propuesto asistir al desarrollo de cultivares nacionales de espárrago, evaluando la divergencia y la heterosis para caracteres asociados a la productividad. Se planteó como hipótesis que en el espárrago existe una asociación entre la distancia genética y la heterosis para los caracteres productivos, factible de ser explotada para la obtención de híbridos de alto rendimiento entre materiales de distintos orígenes. Se trabajó con materiales de acceso libre para mejoradores de espárrago, que provienen de una extensa búsqueda entre los bancos de germoplasma con accesiones de espárrago disponibles y públicas. Las accesiones parentales fueron 12, de 11 orígenes distintos (Reino Unido, Países Bajos, España, Turquía, República Checa, Alemania, Rusia, Suecia, Dinamarca, Francia, Estados Unidos). A través de cruzamientos dialélicos sin recíprocos, se generaron 43 híbridos experimentales. Los materiales (parentales, híbridos y testigos) se encuentran implantados desde el año 2018, en un diseño en bloques completamente aleatorizado, con tres repeticiones; en la Sección de Horticultura del Campo Experimental Villarino, en la Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional de Rosario. Se realizó una evaluación fenotípica de los materiales; se midió peso, calibre y calidad de turiones, número de turiones totales y comerciales por planta, rendimiento total y comercial, precocidad, altura a la primera ramificación y altura de planta; se realizó una prueba de comparación de valores medios; y estudios con múltiples variables mediante Análisis de Componentes Principales. Se estimó el porcentaje de heterosis con respecto al mejor padre; porcentaje de heterosis útil, con respecto al testigo comercial Atticus; y se evaluaron aptitudes combinatorias generales y específicas. Al mismo tiempo, se realizó una evaluación genotípica de las accesiones de espárrago, se calculó la distancia genética entre accesiones mediante marcadores SRAP; conociendo la relación genética entre ellas, mediante un

Dendograma y un Análisis de Coordenadas Principales. Por último se evaluó la asociación entre la distancia genética de los parentales, y la heterosis de sus respectivas cruzas. Se obtuvieron híbridos experimentales con altos valores de heterosis con respecto al mejor padre; y competentes con el testigo comercial. Se encontraron materiales parentales con altas aptitudes combinatorias generales y específicas, distinguiéndose como posibles progenitores en programas de obtención de híbridos. Pueden considerarse como poblaciones base apropiadas a los materiales UC 157 (ID 13) y KBF (ID 1), cruzadas con Argenteuil (ID 12), Limburgia (ID 3) y Espárrago de Navarra (ID 4). La craza “12 (Argenteuil) x 13 (UC 157)” expresó las mejores performance para todos los caracteres evaluados, superó al testigo comercial Atticus y alcanzó valores de heterosis con respecto al mejor padre superiores al 300%. Se determinó que la base genética del espárrago no es tan estrecha como se creía; y no se encontró un claro agrupamiento de las accesiones por orígenes geográficos. La distancia genética no presenta correlación significativa con ninguna de las heterosis calculadas para las diez variables consideradas en el trabajo de tesis. A partir de nuestros resultados, no podemos confirmar que la distancia genética y la heterosis para caracteres asociados a la productividad en espárrago, estén correlacionadas.

Palabras Clave: espárrago, aptitud combinatoria, heterosis, distancia genética.

ABSTRACT

The cultivated asparagus, *Asparagus officinalis* L., is a monocotyledonous, diploid ($2n=20$), perennial and dioecious species. It is currently cultivated throughout the world, for consumption fresh, frozen and canned; and is in a new stage of expansion that responds to the demand for food with nutritional quality. Although Argentina is among the 15 countries with the highest asparagus production, its productivity has remained stable, without yield increases in the last 30 years. Throughout the improvement of this species, different types of materials have been developed, searching to increase the yield and uniformity of the crop; however, the same cultivars remain in production from several decades. Reaching competent production levels in the world requires the non-reproduction of introduced materials; and maintain continuous progress, based on genetic improvement and local adaptation of the crop. In this context, it has been proposed to assist in the development of national asparagus cultivars, evaluating divergence and heterosis for traits associated with productivity. It was hypothesized that in asparagus there is an association between genetic distance and heterosis for productive characters, feasible to be exploited to obtain high-yield hybrids between materials of different origins. We worked with free access materials for asparagus breeders, which come from an extensive search among germplasm banks with available and public asparagus accessions. There were 12 parental accessions, from 11 different origins (United Kingdom, Netherlands, Spain, Turkey, Czech Republic, Germany, Russia, Sweden, Denmark, France, United States). Through diallelic crosses without reciprocals, 43 experimental hybrids were generated. The materials (parental, hybrid and commercial check) have been implanted since 2018, in a completely randomized block design, with three repetitions; in the Horticulture Section of the Campo Experimental Villarino, in the Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional de Rosario. A phenotypic evaluation of the materials was carried out; weight, caliber and quality of shoots, number of total and commercial shoots per plant, total and commercial yield, earliness, height at first branching and plant height were measured; a mean value comparison test was performed; and multivariate studies using Principal Component Analysis. The percentage of heterosis was estimated with respect to the best parent; percentage of useful heterosis, with respect to the Atticus commercial check; and general and specific combining abilities were evaluated. At the same time, a genotypic evaluation of the asparagus accessions was carried out, the genetic distance between accessions was calculated using SRAP markers; knowing the genetic relationship between them, through a Dendrogram and a Principal Coordinates Analysis. Finally, the association between the genetic distance of the parents and the heterosis of their respective crosses was evaluated. Experimental hybrids with high values of

heterosis with respect to the best parent were obtained; and competent with the commercial check. Parental materials with high general and specific combining abilities were found, standing out as possible parents in hybrid breeding programs. The materials UC 157 (ID 13) and KBF (ID 1), crossed with Argenteuil (ID 12), Limburgia (ID 3) and Espárrago de Navarra (ID 4) can be considered as appropriate base populations. The cross “12 (Argenteuil) x 13 (UC 157)” expressed the best performance for all the characters evaluated, surpassed the commercial check Atticus and reached heterosis values with respect to the best parent above 300%. It was determined that the genetic base of asparagus is not as narrow as believed; and no clear grouping of accessions by geographic origin was found. The genetic distance does not present a significant correlation with any of the heterosis calculated for the ten variables considered in the thesis work. From our results, we cannot confirm that genetic distance and heterosis for traits associated with productivity in asparagus are correlated.

Keywords: asparagus, combining ability, heterosis, genetic distance.

1. INTRODUCCIÓN

El espárrago (*Asparagus officinalis* L.) ha sido siempre una hortaliza muy valorada no sólo por su consumo como alimento sino, además, por sus propiedades medicinales asociadas a la presencia de compuestos bioactivos (Štajner et al., 2002). Actualmente, el cultivo de espárrago se encuentra en una nueva etapa de expansión que responde principalmente al incremento de la demanda por su alta calidad nutricional con efectos beneficiosos para la salud humana tales como antidiabético, hipolipidémico, hepatoprotector y antioxidante (Fuentes Alventosa, 2010; Amato y Martin, 2022). Este incremento, no sólo se debe a las tendencias actuales donde los consumidores buscan una alimentación diversificada y equilibrada; sino que frente a la actual situación sanitaria mundial, se busca elevar el sistema inmunológico a través del consumo de superalimentos, como es el espárrago (Díaz et al., 2022; Olmata, 2020).

Globalmente nos encontramos frente a un aumento en la demanda de producción de alimentos, debido al incremento de la población mundial, aunque inmersos en amenazas por el cambio climático. Como desafíos emergentes para la comunidad del cultivo de espárrago, se encuentran los trabajos y estudios interdisciplinarios que acompañen no sólo a la producción y al mejoramiento tradicional del cultivo; sino también a la obtención de variedades adaptadas a distintos sistemas y/o condiciones de cultivos, como las condiciones de sequía o bajo un sistema orgánico/agroecológico de producción (Moreno-Pinel et al., 2021).

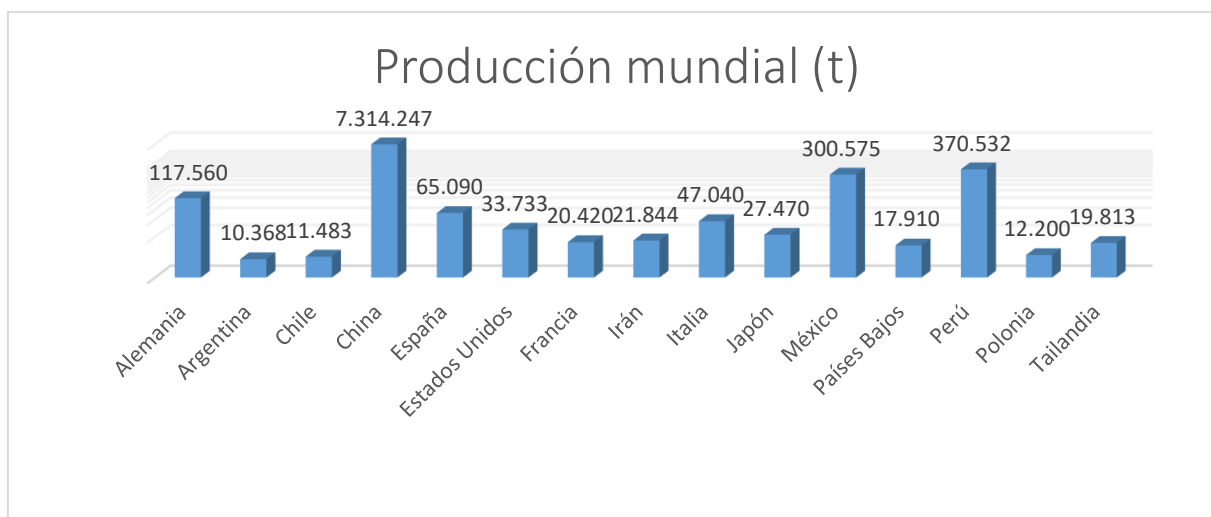
El género *Asparagus*, pertenece a la familia *Liliaceae*, y comprende más de 150 especies, algunas de ellas con valor ornamental, valor medicinal y sólo una con valor hortícola, de mayor importancia económica: *Asparagus officinalis* L., el espárrago cultivado. Dentro del género, según la clasificación de Clifford y Conran (1987), se distinguen tres subgéneros: *Asparagus*, *Protoasparagus* y *Myrsiphyllum*. Las especies del primer subgénero son dioicas, y si bien, la única cultivada es *Asparagus officinalis* L.; otras como *A. acutifolius* L., *A. albus* L., *A. aphyllus* L., *A. horridus* L., *A. verticillatus* L., *A. pseudoscaber* Grecescu, son cosechadas en estado silvestre o cultivadas para consumo propio. Mientras que las especies de los subgéneros *Protoasparagus* y *Myrsiphyllum*, son hermafroditas; y presentan valor ornamental, como *A. scandens* Thunb., *A. densiflorus* (Kunth) Jessop., *A. plumosus* Baker; o propiedades medicinales, como *A. cochichinensis* (Lour.) Merr, *A. recemosus* Willd. (López-Anido y Cointry, 2008; Moreno-Pinel et al., 2021).

Asparagus officinalis L., es una especie monocotiledónea, diploide ($2n = 2x = 20$), perenne, y dioica (Moreno-Pinel et al., 2021). La región postulada de domesticación de la

especie comprende Europa del este, el Caucaso y Siberia (Sturtevant, 1890). Los griegos y romanos tomaron la cultura de su cultivo de las naciones del este de donde además adquirieron la palabra en iraní `sparega´, que significa brote, de la cual derivó su nombre actual en la mayoría de los idiomas modernos. Los romanos fueron quienes difundieron su cultivo al resto de Europa. Luego de la caída del Imperio Romano, durante la Edad Media (siglos V-XV), el cultivo de espárrago quedó relegado a los monasterios como planta medicinal. La excepción fue España, donde su cultivo continuó, según se deduce de registros de los siglos XII-XIII (Al-Awam Book of Agriculture) (López-Anido y Cointry, 2008; Moreno-Pinel et al., 2021; Cubero, 2003). Durante el Renacimiento, el cultivo fue redescubierto como un apreciado vegetal (Lužný, 1979). Actualmente se cultiva en los cinco continentes, con un constante aumento de producción debido a la alta demanda del producto tanto para consumo fresco, enlatado y congelado.

En los últimos años, los mayores aumentos en la producción han ocurrido en países como Perú y China, que tienen un menor costo relativo de producción y/o la posibilidad de entrar en los mercados de contra-estación, aprovechando los altos precios del cultivo (Benson, 2002). Según estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), en 2022, la producción a nivel mundial de este cultivo está liderada por China, con una producción total de 7.314.247 t/año, seguido por Perú, México y Alemania (Figura 1.1).

Figura 1.1 Producción de espárrago a nivel mundial en toneladas. Datos FAO, 2022.



En nuestro país, fue introducido por inmigrantes italianos a comienzos del siglo XX (Díaz et al., 2022). La producción argentina de espárragos, a partir de la década de los '90

representó un gran momento de expansión del cultivo. En 1990 se produjeron 4.843 t de espárrago, mientras que en 2020, esta producción se duplicó hasta llegar a 10.368 t (datos estadísticos FAO, 2022). En relación al área cultivada, también sufrió una expansión en estas décadas: 1.152 ha en 1990 y 2.615 ha en 2020 (datos estadísticos FAO, 2022). Sin embargo, durante este mismo período, el rendimiento medio por hectárea, pasó de 4,20 t a 3,96 t. Es así como la mayor producción se debe a la mayor superficie cultivada, mientras que los rendimientos por hectárea fueron menores respecto a la producción promedio por hectárea de la década del '90, debido a la falta de programas de mejoramiento y tecnologías que apoyen la producción del cultivo, así como también a la ausencia de políticas públicas que incentiven su producción.

Argentina se posiciona en el mundo entre los quince países con mayor producción. La provincia de San Juan es uno de los puntos geográficos que mayor participación tiene en la producción nacional de espárragos (76,9%), seguida por Buenos Aires (20%), Mendoza (1,7%), Córdoba (0,8%) y Santa Fe (0,6%) (Corporación Mercado Central BA, 2018). En San Juan, los cultivos se encuentran en manos de productores familiares que no superan las cinco hectáreas; solo una empresa se dedica a la producción y exportación de espárragos, y cuenta con más de 60 hectáreas del producto (Donoso, 2021).

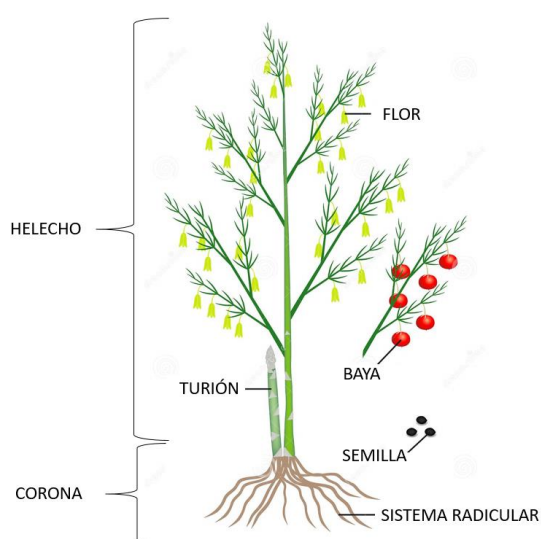
Desde el punto de vista botánico, el espárrago debe su carácter perenne a la parte subterránea de la planta: el rizoma (conocido como corona, garra o araña). Éste es un tallo modificado subterráneo, del cual crecen hacia abajo raíces de almacenamiento y raíces de absorción. Las primeras son gruesas, adventicias, y se encargan de la reserva de sustancias; mientras que las segundas son más finas, fibrosas, y crecen sobre las raíces de almacenamiento, encargándose de la absorción de agua y nutrientes. En la parte superior del rizoma perenne, se encuentran numerosas yemas que anualmente permiten el crecimiento de brotes (turiones o “espárragos”), los que constituyen el órgano de consumo. Éste último, puede ser verde, si crece expuesto a la luz, o blanco, si lo hace a través de un lomo de tierra o plástico negro que lo cubra.

El espárrago podrá ser verde o blanco, dependiendo del manejo del cultivo; o violeta según la genética del material en producción. Los espárragos verdes son los más cultivados y demandados, mayormente comercializados en fresco; el turión crece sobre la tierra sin alomar y expuesto a la luz solar. Su color verde responde a la producción de pigmentos clorofílicos. Los espárragos blancos, destinados en mayor proporción a la industria de productos enlatados; crecen bajo el suelo alomado o cubierto, sin exposición a la luz solar y, por tanto, sin producción de clorofila. La diferencia, entre espárragos verdes y blancos, no

es genética sino que se debe al manejo descripto. Los espárragos blancos, suelen presentar precios más altos, debido a su mayor complejidad en el alomado y cosecha. Por su parte, los espárragos violetas o morados, deben su pigmentación a la presencia de antocianinas; y su manejo es sobre la superficie del suelo sin alomar, de igual manera que la producción de espárrago verde.

Luego del período de cosecha (septiembre – diciembre, en Argentina), los turiones remanentes se dejan crecer y vegetar para acumular fotoasimilados (sacarosa, fructosa y glucosa), y producir las yemas suficientes para la brotación de los espárragos de la siguiente temporada. Así, los turiones sin cosechar, se transforman en helechos; formados por tallos aéreos semileñosos, con una vara principal y ramificaciones laterales. De las axilas de las brácteas surgen las cladófilas, con apariencia similar a hojas, siendo tallos modificados. En la Figura 1.2, se muestra una planta de espárrago en la que se distingue la parte subterránea (corona) y la parte aérea (helecho, acompañado de un turión).

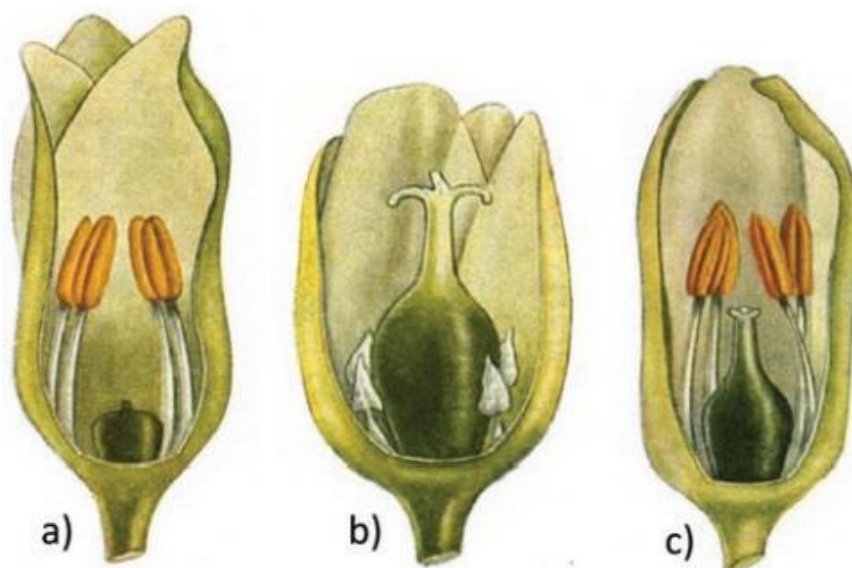
Figura 1.2 Planta de espárrago, se distinguen órganos de la parte subterránea: corona; y de la parte aérea: helecho y turión. (Imagen modificada, Fuente: <https://es.dreamstime.com> ID 147231629 - Nadia Havryliuk Kharzhevskia).



El espárrago es una especie dioica, donde flores femeninas y masculinas se encuentran en distintos pies. Las plantas estaminadas (masculinas), presentan el androceo desarrollado (polen amarillo visible en las anteras de sus estambres) y el gineceo no funcional (Figura 1.3 a). Las plantas pistiladas (femeninas), por su parte, presentan flores con el gineceo desarrollado (estilo y estigma visibles) y androceo no funcional (Figura 1.3 b). Además, entre las plantas estaminadas, pueden encontrarse plantas con flores

hermafroditas (androceo y gineceo funcional) (Figura 1.3 c). Éstas son llamadas plantas andromonoicas y existen en un muy bajo porcentaje (1:500) (López-Anido y Cointry, 2008).

Figura 1.3 Tipos de flores de *Asparagus officinalis* L. a) flores estaminadas; b) flores pistiladas; c) flores hermafroditas de plantas andromonoicas. (Fuente: Moreno-Pinel et al., 2021)



La polinización natural, es conducida por abejas y abejorros; normalmente la floración masculina antecede a la floración femenina, y produce mayor número de flores que estas últimas (López-Anido y Cointry, 2008). Las flores femeninas, a partir de sus estigmas receptivos en la etapa de antesis, pueden ser polinizadas con el polen de las plantas masculinas. En las plantas femeninas fecundadas, se formarán los frutos, que son pequeñas bayas redondas (verdes al inicio y rojizas al madurar) con hasta diez semillas cada una.

La forma habitual de reproducción del cultivo es a través de semillas, con las que se hacen almácigos o bandejas de germinación previo al trasplante definitivo a campo. Las cosechas comienzan normalmente al año siguiente de la implantación a campo, y se pueden extender, según el manejo, por más de diez años. El pico de producción, ocurre habitualmente en el sexto o séptimo año, y a partir del décimo la producción disminuye aproximadamente un 5% anual. Luego del décimo quinto año, la esparraguera no sería rentable (Cantaluppi, 2012).

A nivel productivo, el rendimiento en espárragos surge de la combinación de un alto número de brotes de deseable diámetro y buena calidad, tanto para la confección de “atados” para el mercado fresco como para la industria. La calidad de los turiones, está

determinada por puntas estrechas y compactas, y ausencia de brácteas abiertas o ramificaciones. Entonces, surgen los términos Rendimiento Total (que incluye la totalidad de turiones producidos) y Rendimiento Comercial, estimando a este último sólo con aquellos turiones que alcancen un diámetro estipulado y una buena calidad de la punta del espárrago.

Los requerimientos generales para la comercialización, características de los espárragos a considerar según la Resolución 249/2007 de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimento de la República Argentina (SAGPyA) son: turión bien desarrollado, tal que permita resistir el manejo y el transporte para arribar en condiciones satisfactorias al lugar de destino; de consistencia firme; de forma, color, sabor y olor característico de la variedad; en estado fresco; enteros, limpios y sanos; cabeza compacta y bien cerrada; libres de pudrición, de defectos mecánicos, de manchas o indicios de heladas, de tallo hundido y sin presentar floración alguna, de daños causado por plagas, insectos vivos y enfermedades, de cualquier material extraño (polvo, residuos químicos, etc.); de tamaño y calibre uniforme. Requerimientos específicos: longitud mínima de 17 cm, turiones rectos sin curvatura del ápice; y la tolerancia máxima de color blanco para espárragos verdes es de 4 cm desde la base.

La distribución de calibres según el Protocolo de Calidad de Espárragos Frescos de Argentina (SAGPyA, 2007), clasifica a los turiones de tipo verde en función del diámetro medido a 2,5 cm de su base en turiones jumbo (J): con más de 18 mm, extra-large (XL): de 16 a 18 mm, large (L): de 12 a 16 mm, medium (M): de 9 a 12 mm y small (S): de 6 a 9 mm. Mientras que los consumidores en los países europeos prefieren turiones de mayor diámetro (L, XL y J), en Estados Unidos se posicionan mejor los turiones de menor calibre (S y M). Es así como el calibre y otras exigencias en calidad, son cada vez mayores; como la presencia de turiones no espigados, con puntas compactas, sin daños de plagas o enfermedades, sin curvaturas, uniformes (Kirschenbilder et al., 2015). La dureza o terneza de los turiones está altamente correlacionada con la tensión de la punta del espárrago (Cantaluppi, 2012). A medida que la punta del turión se abre, se hacen visibles sus escamas y ramificaciones. Los turiones más viejos, presentan puntas sueltas y mayor cantidad de fibra, considerándose con poca terneza. El desarrollo de la fibra comienza en la base del turión para permitir que el espárrago alargado se convierta en un tallo leñoso para soportar el peso del helecho, una vez finalizada la temporada de cosecha (Cantaluppi, 2012). Las altas temperaturas causan la apertura prematura de los extremos de los turiones, haciendo que se ramifiquen a baja altura, tornándolos no comerciales (Ellison, 1986), por ello la precocidad es también de gran importancia para la producción con destino al consumo en fresco.

La dioecia en la especie, y sus implicancias productivas a través de los caracteres sexuales secundarios ha sido ampliamente estudiada. La proporción normal de sexos en cultivares y poblaciones de *Asparagus officinalis* L. es 1:1 de plantas estaminadas (masculinas) y plantas pistiladas (femeninas), según López Anido y Cointry (2008). Esto es interesante, ya que, un mayor número de tallos se asocia a plantas estaminadas, mientras que, un mayor calibre de los mismos se observa en las pistiladas (Ellison et al., 1960; Moon, 1976; Fallon y Nikoloff, 1986; Gonzales Castañón, 1990). Los fotoasimilados que una planta femenina destina a la producción de frutos y semillas, en las plantas machos estarían destinados a la producción de turiones. Sinton y Wilson (1999), determinaron que el peso seco del sistema radicular fue casi el doble para plantas macho, mientras que el contenido de carbohidratos de las raíces en plantas femeninas fue generalmente más bajo; así como también el número de yemas y raíces por corona fue menor para las hembras que para los machos. Por lo tanto, las plantas femeninas son menos productivas, pero producen turiones más gruesos; mientras que, las plantas masculinas son más productivas y producen turiones más finos (Cattivelo, 2002). Esta situación ha jugado un rol preponderante en el lineamiento de muchos programas de mejora de espárrago desde mediados del siglo pasado, en los que se ha puesto énfasis en el desarrollo de cultivares 100% estaminados (López-Anido y Cointry, 2008).

El sexo en las plantas de espárrago, está determinado por un único gen (M/m); las plantas macho son heterocigotas (Mm) y las hembra homocigotas recesivas (mm) (Rick y Hanna, 1943). Ellison (1986), observó que una de cada 500 plantas macho era capaz de producir flores con su parte femenina funcional, llamadas hermafroditas (andromonoicas). A través del cultivo de anteras o de la autofecundación de estas últimas, se obtienen plantas denominadas supermacho (MM); y a partir de su cruzamiento con plantas pistiladas (mm) se han desarrollado los cultivares 100% estaminados (Mm), que se denominan “todo macho” (Cantaluppi, 2012 y Moreno-Pinel et al., 2021).

El espárrago es un cultivo perenne en el cual recién se recupera la inversión varios años después de la implantación. Este aspecto determina la importancia que tiene la adecuada elección del cultivar, el sitio donde se va a establecer la esparraguera y el sistema de plantación a utilizar, de modo que se asegure una longevidad adecuada de la misma y con altos rendimientos (González y del Pozo, 1999).

Los caracteres de interés agronómico en el cultivo de espárrago, que definen el desempeño de un cultivar son principalmente productivos, como: rendimiento total, rendimiento comercial, número de turiones totales o comerciales por planta, peso del turión,

diámetro en el tercio inferior del turión, precocidad a cosecha y calidad del turión. No menos importante, son las variables vegetativas como la altura de la planta y la altura a la primera ramificación en el tallo principal del helecho de espárrago, que también participan en la evaluación de cultivares. A lo largo de los años se han conducido estudios de correlaciones entre variables vegetativas y productivas del espárrago; con el objetivo de conocer las relaciones existentes entre los distintos caracteres agronómicos. Altas correlaciones positivas se han encontrado entre el peso y el calibre de los turiones, los materiales que presentan alto peso de turiones estarían acompañados de buenos calibres (correlaciones positivas superiores al 90%) (Amato et al., 2021a; Cointry et al., 2000). Entre altura a la primera ramificación y calidad del turión, se encontraron asociaciones que asumen que cuanto más alta sea la inserción de la primera ramificación en el tallo principal del helecho en estado vegetativo, mejor será la calidad del turión –menor será la apertura de la punta del turión- (correlaciones negativas entre 60 y 70 %) (Amato et al., 2021a; Krarup y Contreras, 2002). Entre rendimiento comercial y número de turiones comerciales por planta, también se encontraron asociaciones positivas superiores al 90%; sin embargo esta asociación no ocurre si se consideran a los turiones totales por planta (turiones no comercializables por sus bajos calibre y calidad) (correlaciones positivas menores al 20%) (Amato et al., 2021a; Ito y Currence, 1965). Otras asociaciones encontradas exponen que el rendimiento comercial y la altura de la planta en estado vegetativo, también se relacionan positivamente; sugiriendo que cuanto más alto sea el helecho, mayor será el rendimiento comercial (correlación positiva del 60%) (Amato et al., 2021a).

Cuantificar la magnitud de las asociaciones entre caracteres productivos y vegetativos en espárrago, permite reducir esfuerzos en la evaluación de comportamientos de los cultivares. Asimismo, con el fin de reducir el registro de datos sobre el rendimiento de la progenie a lo largo de toda la temporada, se ha demostrado que el rendimiento medido en las dos primeras semanas, está altamente correlacionado con el rendimiento total de la temporada (Ellison et al., 1960). Stone y Roose (2002), demostraron que el registro de datos solo los “lunes” en un esquema de tres cosechas por semana (“lunes, miércoles y viernes”) estaba altamente correlacionado con los datos de la temporada completa. Ensayos de cultivares de espárrago han demostrado que existe una alta correlación entre el rendimiento comercial de los dos primeros años de cosecha y períodos más largos de años de cosechas, por lo que se considera suficiente evaluar la performance sólo en estas primeras temporadas y trabajar con el promedio de ambas (Ellison, 1986 y Bussell et al., 1987).

A lo largo del mejoramiento de esta especie se han desarrollado, por metodologías convencionales diferentes tipos de materiales con el objetivo de aumentar no sólo el

rendimiento sino también la uniformidad del cultivo. Los materiales comercializados desde hace años incluyen poblaciones mejoradas por selección masal, y distintos tipos de híbridos tales como los simples, dobles y los híbridos clonales (Gatti et al., 2003). Las primeras, son poblaciones mejoradas desde una población base, con características más homogéneas y valores superiores al comportamiento medio de la población de origen. La obtención de poblaciones mejoradas significa menores costos que otro tipo de cultivares; debido a que la producción de semilla se realiza por polinización libre, reduciendo los costos de multiplicación y mantenimiento del cultivar, y debido a que son genéticamente variables, presentan una mayor homeostasis genética y adaptación local (Gatti et al., 2007). Para desarrollar cultivares híbridos en espárrago, pueden utilizarse como parentales genotipos selectos –clones- (homocigotas o heterocigotas) o líneas puras (Moreno-Pinel et al., 2021). La utilización de parentales homocigotos o líneas puras, para la obtención de cultivares híbridos de espárrago genera una mayor uniformidad del cultivar. Para el desarrollo de líneas puras, se han utilizado técnicas como el cultivo *in vitro* de anteras (Falavigna et al., 1999); el aprovechamiento de la poliembrionía en semillas y posterior duplicación cromosómica de monoploides con colchicina (Randall y Rick, 1945); la autofecundación de plantas andromonoicas (Sneep, 1953; Thévenin, 1967), o el cruzamiento entre hermanos completos (López-Anido y Cointry, 2008). Sin embargo, la baja proporción de plantas hermafroditas y/o andromonoicas (1:500), y los esfuerzos que implican las técnicas de obtención de parentales homocigotos o líneas puras en este tipo de cultivo (diclino dioico, perenne); dificultan la obtención de líneas puras (López-Anido y Cointry, 2008).

Los cultivares de espárrago que se utilizan en mayor proporción con fines comerciales son los híbridos clonales. Éstos son el producto de la cruce entre dos clones obtenidos a partir de una planta femenina (Pf) y una masculina (Pm), seleccionadas a partir de una población base tanto por sus características particulares como por su elevada aptitud combinatoria (Fehér, 1992). Las plantas seleccionadas son clonadas (generalmente por cultivo *in vitro*), para luego ser cruzadas a campo en lotes aislados, obteniéndose de las plantas femeninas la semilla comercial. Al provenir de dos progenitores heterocigotas, los híbridos clonales manifiestan una variabilidad genética superior a los híbridos simples obtenidos a partir del cruzamiento de líneas puras, lo que resulta en una mayor homeostasis. Una vez detectada una combinación superior en cuanto a rendimiento, se procede directamente a la producción del híbrido clonal reduciendo tiempo y recursos en comparación con la obtención de líneas puras para producir híbridos simples (Gatti et al., 2007).

En Argentina, los cultivares más utilizados son híbridos clonales dioicos (Atlas, Apolo, Grande), o todo macho (Atticus, Jersey King); todos provenientes de casas semilleras extranjeras. En el resto del mundo, la producción se basa en híbridos clonales similares, tanto dioicos (Espada, Pacific, Atlas, Apolo, Grande), como todo macho (Magnus, Ercole, Atticus); y en menor medida, en variedades de polinización abierta dioicas (Purple Passion, Pacific Purple) (Moreno-Pinel et al., 2021).

La aptitud combinatoria de un material en evaluación, es definida como la capacidad que tiene un individuo o una población de combinarse con otros, y dicha capacidad es medida en la progenie (Griffing, 1956). Fueron, Sprague y Tatum (1942) quienes redefinieron por primera vez a la aptitud combinatoria, en aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE). La primera corresponde al comportamiento promedio de un parental a través de los diferentes híbridos a los que da origen, ya sea en diferentes cruzas o al cruzarse con un probador de base genética amplia, y es medida como la desviación de lo esperado de la progenie de un genotipo parental con respecto a la media general. Mientras la ACE corresponde al comportamiento promedio de los genotipos parentales en una combinación híbrida específica; y se refiere al desvío observado en el valor de un híbrido con respecto al comportamiento esperado en base a las ACG de los parentales. Es en función de estas definiciones, así como de su significado estadístico, que la ACG se asocia con los efectos génicos aditivos (promedios), mientras que la ACE se asocia con los efectos de dominancia y epistáticos (desviaciones de promedios) (Griffing, 1956; Sprague y Tatum. 1942). El estudio de las aptitudes combinatorias es eficiente para la identificación y selección de combinaciones parentales (Hallauer, 1990). Entre los métodos que permiten evaluar aptitud combinatoria y poder predecir cruzas superiores combinando las mejores características de los progenitores, se encuentran los diseños dialélicos propuestos por Griffing (1956). Estos análisis dialélicos, permiten a partir de cruzamientos en todas las combinaciones posibles entre un conjunto de parentales con alta homogeneidad; lograr estimaciones de las ACG y ACE para la selección de parentales superiores (Griffing, 1956; Sprague y Tatum. 1942).

Entonces, para lograr los mejores cultivares híbridos, donde se expresen niveles de heterosis aprovechables; se deben seleccionar como parentales aquellos individuos (clones) que presentan los mayores valores de aptitud combinatoria general y específica. En el espárrago, como en la mayoría de las especies vegetales donde se evalúan combinaciones híbridas, la performance de las progenies presenta una baja correlación con la de las plantas parentales, sobre todo para el número de turiones o espárragos. Esto se explica por un lado por el efecto del microambiente en la producción de plantas individuales perennes, y

por otro lado en la importancia de los efectos no aditivos en las combinaciones híbridas (López-Anido y Cointry, 2008).

La heterosis o vigor híbrido, es el fenómeno que explica la superioridad del híbrido sobre los parentales. En una cruce, el vigor híbrido se manifiesta superando el híbrido la media de sus padres para uno o varios caracteres (Shull, 1948). La base genética de la heterosis puede depender del carácter y la especie evaluados, y puede explicarse no sólo por una única teoría, sino por múltiples teorías en forma conjunta. Entre las teorías que más se han estudiado, encontramos a las teorías de la dominancia, la sobredominancia, la pseudo-dominancia y la epistasis. La teoría de la dominancia, supone que la superioridad del híbrido resulta de la mayor acumulación de alelos en estado dominante en el genoma del híbrido, enmascarando los efectos deletéreos de determinados alelos recesivos. La teoría de la sobredominancia, explica que el mayor vigor híbrido se logra en heterocigotas, seleccionando genotipos parentales divergentes para un locus. La pseudo-dominancia, asume que, si un carácter es determinado por múltiples factores, la heterosis será causada por la acumulación de alelos favorables y opuestos, funcionando como un locus con sobredominancia. Las teorías que responden a la epistasis, explican que el vigor híbrido es logrado gracias a interacciones entre los loci que contribuirían al mejor comportamiento híbrido (Labroo et al., 2021; Li et al., 2015). Pese a todas las teorías propuestas, ninguna logra explicar en un 100% el fenómeno, por lo que también suele explicarse como una combinación de las mismas.

El fenómeno de heterosis en el cultivo de espárrago, fue estudiado inicialmente por Ito y Currence, en 1965, quienes determinaron heterosis con respecto al mejor padre para rendimiento. Evaluaron cruces de líneas y variedades comerciales de espárrago, utilizadas como plantas hembras, con clones hermafroditas y otras variedades comerciales, utilizados como plantas macho; y obtuvieron valores que alcanzaron 200% de heterosis. Más adelante, se han comparado porcentajes de heterosis para rendimiento entre distintas especies hortícolas con polinización cruzada, como las cucurbitáceas (melón -8%-, zapallo -40/44%- y sandía -10%-), otras como brócoli (65%), repollo (14%), coliflor (10%), zanahoria (28%), cebolla (40%), espinaca (18%); siendo el espárrago la especie que mayores porcentajes de heterosis ha presentado (106%) (Wehner, 1999). A pesar de que se vienen obteniendo híbridos clonales desde hace más de 40 años, los estudios sobre la heterosis y acciones génicas implicadas son limitados (Ito y Currence, 1965; Asprelli et al., 2005a).

Moreno-Pinel y colaboradores (2021), proponen que a través de selección recurrente sobre poblaciones base, se incrementan las frecuencias de alelos favorables, con acción

génica aditiva; mientras que para favorecer la heterosis, relacionada con las acciones génicas no aditivas, los parentales deberían derivar de poblaciones con gran distancia genética. Los esfuerzos en maximizar la heterosis, como consecuencia esperada de los efectos génicos no aditivos, podrían verse ayudados conociendo cómo las frecuencias génicas en los genotipos parentales intervienen en la expresión del vigor híbrido.

La cantidad de heterosis exhibida por una cruce o híbrido, se usa habitualmente como una medida de la divergencia genética entre los parentales. Si la superioridad de la combinación híbrida es grande, se asume que los dos parentales son genéticamente más divergentes que para aquellos casos donde los valores de heterosis sean menores o no exista (Hallauer y Miranda Filho, 1988). Sin lugar a dudas, la divergencia genética (medida como el grado de diferencia en la frecuencia de genes) entre los padres es necesaria para que la heterosis se manifieste en el híbrido. Aunque, lo contrario de esta afirmación no sería cierto; es decir, la falta de heterosis no puede utilizarse para inferir una falta de divergencia genética. Por lo tanto, evaluar el grado de divergencia genética en función de la cantidad de respuesta heterótica está sujeta a dudas (Cress, 1966), y debe ser probada. En el maíz (*Zea mays*), la especie vegetal donde se han desarrollado por primera vez cultivares híbridos, y estudiado más extensamente el fenómeno de heterosis, se ha encontrado, en la mayoría de los casos, correlaciones positivas entre distancia genética y vigor híbrido (Hallauer et al., 2010; Laude y Carena, 2015). Sin embargo, en espárrago no se han realizado, hasta el momento, estudios sobre la relación entre la distancia genética y la heterosis.

La historia del mejoramiento moderno del espárrago se asocia a dos orígenes distintos, por un lado en Estados Unidos, Francia e Italia donde se seleccionaron cultivares a partir de la población Argenteuil; mientras que en Alemania y Holanda se obtuvieron a partir de la población Braunschweiger. Si bien ambas poblaciones (Argenteuil y Braunschweiger) tienen un origen común, el espárrago cultivado en los siglos XVII y XVIII en Holanda, se han mantenido separadamente por más de 200 años. Esta divergencia ha sido respaldada por estudios moleculares, llevados a cabo por Geoffriau et al. (1992), quienes utilizaron marcadores morfológicos e isoenzimáticos en 26 cultivares de espárrago de ocho orígenes diferentes. Por su parte, Caruso y colaboradores (2008), analizaron la diversidad genética entre 30 cultivares de espárrago, utilizando marcadores microsatélites (SSR); como resultados del análisis distinguieron dos grupos principales, uno que comprendía cultivares americanos y algunos provenientes de España, Italia y Alemania; mientras que el segundo grupo incluía accesiones de los Países Bajos, Alemania, España y Nueva Zelanda. Como conclusión, sugirieron que los mejoradores de espárragos en Europa y América del Norte han desarrollado y utilizado grupos de germoplasma algo diferentes, pero algunos cultivares

pueden tener orígenes más complejos e incluir genes de ambas fuentes de germoplasma. Recientemente, Chen y colaboradores (2020), mediante el uso de marcadores ISSR (secuencias intercaladas entre los microsatélites) y un análisis de cluster; y confirmaron la formación de dos conglomerados o grupos de cultivares pero no lograron separar claramente a los cultivares con respecto a sus orígenes; cultivares norteamericanos, holandeses y chinos se ubicaron en ambos grupos. Concluyeron que la diversidad genética era mayor de lo que se pensaba a priori. Todos estos estudios fueron realizados para *Asparagus officinalis* L., hasta la fecha no existe una evaluación completa de la evolución y filogenia del género *Asparagus* (Moreno-Pinel et al., 2021).

Dentro del género *Asparagus* se han identificado materiales con distintos niveles de ploidía (2x, 4x, 6x, 8x, 10x, 12x). Varios subgéneros y niveles de ploidía han sido utilizados como recursos genéticos para la generación de variabilidad en programas de mejoramiento de la especie. El cultivar Purple Passion, cultivado para espárrago violeta, fue seleccionado a partir de un cultivar tetraploide -Violetto d'Albenga- (Benson et al., 1996); como así también se han utilizado distintos niveles de ploidía en la obtención de cultivares híbridos triploides, a partir del cruzamiento entre progenitores tetraploides y diploides; buscando nula o baja fertilidad en la descendencia (Moreno-Pinel et al., 2021). Si bien la hibridación interespecífica entre *Asparagus officinalis* L. y especies silvestres de los subgéneros *Myrsiphyllum* y *Protoasparagus* no ha sido exitosa (Kanno y Yokoyama, 2011), se ha logrado hibridación entre especies emparentadas del subgénero *Asparagus* (Castro et al., 2013).

El desarrollo de técnicas de biología molecular como los marcadores moleculares, sobre todo aquellos basados en diferencias en la secuencia del ADN y reacción en cadena de la polimerasa (PCR), al detectar polimorfismos en un gran número de loci, han permitido evaluar la diversidad genética y evolutiva de las especies estudiadas; facilitar la selección de nuevas variedades al identificar y localizar las regiones génicas que determinan características agronómicas de interés, así como el desarrollo de mapas de ligamiento genéticos (Collard et al., 2005).

Los marcadores moleculares más utilizados en espárrago hasta el momento, han sido los RAPD (Fragmentos Polimórficos Amplificados al Azar), los AFLP (Polimorfismos en la Longitud de Fragmentos Amplificados) y los RFLP (Polimorfismos en la Longitud de los Fragmentos de Restricción); tanto para evaluar diversidad genética, relaciones filogenéticas y determinación del sexo (Moreno-Pinel et al., 2021). Los marcadores de tipo microsatélites (SSR), no se han utilizado de manera extensiva en este cultivo debido a sus altos costos de

obtención. Sin embargo, en 2008, Caruso y colaboradores, desarrollaron un conjunto de cebadores SSR para evaluar diversidad genética, y éstos representaron los primeros aportes de este tipo de marcadores para la comunidad de investigación genética de espárrago; luego le siguieron Mercati y colaboradores en 2013, quienes además de trabajar con marcadores SSR, realizaron los primeros aportes de marcadores SNP (Polimorfismos de un Solo Nucleótido) en la especie. Estos últimos (SSR y SNP), junto con un marcador Asp1-T7sp, fueron utilizados para genotipar una población de retrocruzamiento y construir un mapa de ligamiento preliminar (773,5 cM). En 2016, Li y colaboradores, desarrollaron una nueva colección de marcadores SSR, para estudiar diversidad genética de cultivares de *Asparagus officinalis*. El primer mapa de ligamiento de alta densidad de la especie, fue informado por Moreno y colaboradores (2018), quienes emplearon el Genotipado por Secuenciación (GBS), para identificar SNPs en una población F₁ (cubriendo una distancia genética de 1.947 y 1.814 cM, para el parental hembra y macho, respectivamente) (Moreno-Pinel et al., 2021).

Hasta el momento, no se había evaluado germoplasma de espárrago a través de marcadores SRAP (Polimorfismos Amplificados de Secuencias Relacionadas). Estos constituyen un sistema de marcadores simple y eficiente, cuya utilidad ha sido probada en diversos estudios, tales como la caracterización de germoplasma en distintas especies (Li y Quiros, 2001; Lin et al., 2003; Ferriol et al., 2004; Cravero et al., 2007; Espósito et al., 2007; Bermejo et al., 2010), para la identificación de marcadores asociados a un carácter de interés (Li y Quiros, 2001; Ruiz et al., 2001; Rahman et al., 2007; Martin et al., 2008; Zayas et al., 2020), así como también han sido aplicados en el desarrollo de mapas de ligamiento (Li y Quiros, 2001; Sun et al., 2007; Lin et al., 2003; Martin et al., 2013; Guindón et al., 2016).

Los marcadores SRAP se caracterizan por el uso de dos cebadores, uno directo de 17 bases y rico en GC y otro reverso (o antisentido) de 18 bases rico en AT. Cada cebador contiene una secuencia central (*core*) de una longitud de 13 -14 bases, donde las primeras 10 u 11 bases a partir del extremo 5' son secuencias de "relleno" no específicas, seguidas por la secuencia CCGG en el cebador directo y AATT en el cebador reverso. La secuencia central es seguida por tres nucleótidos selectivos en el extremo 3'. La constitución del cebador directo permite orientar la amplificación de exones; mientras que las bases A y T presentes en el cebador reverso permiten amplificar secuencias ricas en AT, las cuales se encuentra frecuentemente en intrones, promotores y regiones espaciadoras, permitiendo así identificar un mayor número de polimorfismos (Li y Quirós, 2001). Estos marcadores resultan de bajo costo, principalmente debido a que un cebador directo, puede ser combinado con numerosos cebadores reversos y viceversa, generando un gran número de combinaciones

posibles; sumado a la alta cobertura del genoma y a que no se necesita información previa del mismo para su diseño. Por otra parte, no requiere de etapas de pre-amplificación ni de restricción como es el caso de los marcadores AFLP, disminuyendo aún más su costo (Martin, 2012). Por lo que, representan una herramienta útil para la caracterización de la diversidad genética y el mejoramiento de diferentes especies.

HIPÓTESIS

En el espárrago existe una asociación entre la distancia genética y la heterosis para los caracteres productivos, factible de ser explotada para la obtención de híbridos de alto rendimiento entre materiales de distintos orígenes.

OBJETIVOS

General:

- Asistir al desarrollo de cultivares híbridos nacionales de espárrago con *performance* igual o superior a los cultivares extranjeros ya existentes en nuestro país.

Específicos:

- Caracterizar fenotípicamente para caracteres productivos y vegetativos un grupo de accesiones de espárrago de diferentes orígenes.
- Desarrollar materiales híbridos entre las accesiones de diferentes orígenes, y caracterizarlos fenotípicamente para caracteres productivos y vegetativos.
- Estimar la heterosis con respecto al mejor padre para caracteres productivos y vegetativos.
- Identificar combinaciones híbridas de *performance* similar o superior a un testigo comercial, y estimar la heterosis útil.
- Evaluar aptitudes combinatorias generales y específicas de los materiales en estudio.
- Caracterizar genéticamente dichas accesiones mediante marcadores moleculares SRAP (*Sequence Related Amplified Polymorphism* - Polimorfismos Amplificados de Secuencias Relacionadas).
- Determinar las distancias genéticas entre las distintas accesiones evaluadas.
- Determinar el grado de correlación entre heterosis y distancias genéticas entre accesiones.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

EVALUACIÓN FENOTÍPICA

MATERIAL VEGETAL

El material vegetal involucra, a 16 accesiones diploides de *Asparagus officinalis* L. que se detallan en Tabla 2.1. Las accesiones provienen de 11 orígenes distintos; y se encuentran implantadas desde el año 2007 en la Sección Horticultura de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNR, en parcelas de veinte plantas cada una. Estas accesiones fueron utilizadas como parentales o como testigos no comerciales. En la misma tabla, se incluyó al testigo comercial Atticus.

Tabla 2.1 Accesiones de *Asparagus officinalis* que funcionaron como materiales parentales o accesiones testigos.

ID	NOMBRE ACCESIÓN	FUENTE	ORIGEN	ROL
1	KBF, Ames 432	GRIN NE9 ^a	Reino Unido	Parental
2	Dansk Kaempe, Ames 424	GRIN NE9	Dinamarca	Testigo no comercial
3	Limburgia	GRIN NE9	Países Bajos	Parental
4	Espárrago Grueso de Navarra	GRIN NE9	España	Parental
5	7673	GRIN NE9	Turquía	Parental
6	Ivancicky	IPK ^b	Republica Checa	Parental
7	Spaganiva	IPK	Alemania	Parental
8	Asp 6	IPK	Rusia	Parental
10	Asmundtorp	NorGen ^c	Suecia	Parental
11	Arslev 136	NorGen	Dinamarca	Parental
12	Argenteuil	Vilmorin ^d	Francia	Parental
13	UC 157	CAST ^e	Estados Unidos	Parental
15	Conover Colossal	GRIN NE9	Reino Unido	Testigo no comercial
16	23 Logroño	GRIN NE9	España	Testigo no comercial
17	ASP 8271 - ASP 8284	GRIN NE9	Estados Unidos	Testigo no comercial
20	Start	IPK	Alemania	Parental
Atticus	Atticus	Bejo Zaden Zv	Países Bajos	Testigo comercial

- a Northeast Regional PI Station, Geneva, USA, <http://www.ars.usda.gov/Main>
- b IPK, Gatersleben, Germany, <http://www.ipk-gatersleben.de/en/dept-genebank/genebank-documentation/>
- c Nordic Gene Bank, Sweden, <http://www.nordgen.org/>
- d Vilmorin, France, <http://www.vilmorin-semillas-de-arboles.com/semillas>
- e Walker Brothers Inc., USA, <http://www.walkerseed.com>

Como testigos no comerciales se incluyeron materiales de diferentes orígenes geográficos. La accesión ID 16 corresponde a una especie silvestre colectada en Logroño, España (23 Logroño); mientras que ID 17 corresponde a un material tetraploide.

Como testigo comercial, se consideró el cultivar Atticus, el cual es un híbrido 100% macho y semi precoz, proveniente de la casa semillera Bejo Zaden Bv – Países Bajos, actualmente muy difundido en Argentina entre los productores hortícolas.

CRUZAMIENTOS

Para incrementar la cantidad de semillas de cada accesión parental y testigos no comerciales detalladas en la Tabla 2.1, a fin de generar el volumen necesario para la implantación del ensayo, se realizaron cruzamientos dirigidos entre plantas macho y plantas hembra de la misma accesión.

Por otra parte, se realizaron cruzamientos dialélicos, sin recíprocos, entre las accesiones parentales, para alcanzar el mayor número de combinaciones híbridas posibles entre orígenes distintos (Reino Unido, Dinamarca, Holanda, España, Turquía, República Checa, Alemania, Rusia, Suecia, Estados Unidos y Francia).

Para realizar los cruzamientos se dispuso de jaulas de aislamiento confeccionadas con un marco de hierro y tejido de alambre de malla fina o tela (Figura 2.1) cubriendo sólo plantas hembras; o bolsas de tela individuales para cada planta hembra aislada, evitando el ingreso de posibles polinizadores.

Figura 2.1 Lote de espárrago, Sección Horticultura – Facultad de Ciencias Agrarias, UNR. Jaulas de aislamiento de insectos polinizadores.



Durante los meses de noviembre y diciembre de 2017, y enero y febrero de 2018 se visitaron diariamente las plantas para recolectar flores estaminadas y polinizar manualmente las pistiladas. En cada visita, se identificaron las plantas hembras que presentaban estigmas plumosos receptivos (Figura 2.2); y se identificaron con etiquetas plásticas en la base de sus tallos. Por su parte, las plantas masculinas utilizadas como polinizadoras fueron aquellas que presentaban polen fácilmente detectable con color amarillo y estado pulverulento (Figura 2.3); de las cuales se recolectaron sus flores en cajas de Petri identificadas para cada accesión y se utilizaron para polinizar a las plantas hembras disponibles. Cada planta hembra fue polinizada con *bulk* de polen de plantas macho de solo una accesión.

Figura 2.2 Flores pistiladas con estigmas plumosos blancos. Estigmas receptivos.



Figura 2.3 Flores pistiladas, flor superior con estigma plumoso blanco receptivo y flor inferior ya polinizada (se visualiza el color amarillo del polen aplicado sobre el estigma).



Se registró el éxito de los cruzamientos a través de la formación de los frutos (Figuras 2.4 y 2.5), los cuales fueron recolectados al final del verano, para su posterior trillado a fin de obtener las semillas (Figura 2.6).

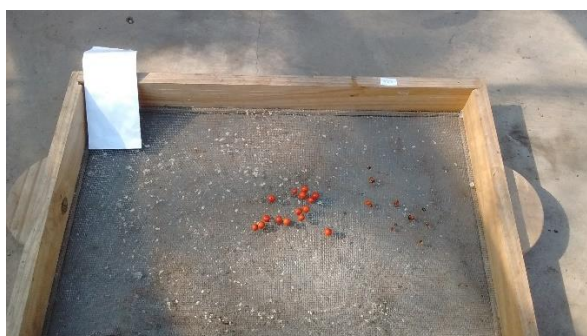
Figura 2.4 Comienzo de formación de frutos. Frutos inmaduros verdes y pequeños.



Figura 2.5 Vara con la mayoría de sus frutos maduros. Frutos maduros rojos.



Figura 2.6 Trilla de frutos cosechados en bandejas de madera con malla metálica.



Las cruzas que compartieron a ambos progenitores fueron reunidas en *bulk*; por ejemplo, 4x5 y 5x4 se mezclaron e identificaron como 4x5. La identificación (ID) de la craza, muestra los ID de sus parentales en orden numérico creciente -4x5- (no se distingue entre parental hembra y macho). Los parentales y testigos no comerciales, fueron identificados como el “número de ID + *bulk*”.

En total, se evaluaron 60 materiales experimentales: 43 híbridos experimentales, 12 materiales parentales, 4 testigos no comerciales y el testigo comercial Atticus.

DISEÑO EXPERIMENTAL DE LOS CRUZAMIENTOS DIALÉLICOS

Para la conducción de los análisis estadísticos los híbridos experimentales provenientes de cruzamientos dialélicos sin recíprocos, fueron analizados en dos sets de

cruzamientos; con el objetivo de lograr que los sets resultantes se encuentren lo más completos posible, considerando número de semillas obtenidas y orígenes distintos por set. Trabajar en un solo set de cruzamiento, implicaría varias cruzas faltantes, debidas a cruzamientos que no fueron efectivos.

Los híbridos resultantes fueron agrupados en los Set 1 y Set 2, como se detallan en las Tabla 2.2 y Tabla 2.3, respectivamente.

Tabla 2.2 Materiales híbridos del Set de cruzas 1

	4	5	6	7	8	11	13	20
4	4 bulk	4 x 5	4 x 6	4 x 7	4 x 8	4 x 11	4 x 13	4 x 20
5		5 bulk	5 x 6	5 x 7	5 x 8	5 x 11	5 x 13	5 x 20
6			6 bulk	6 x 7		6 x 11	6 x 13	6 x 20
7				7 bulk	7 x 8	7 x 11	7 x 13	7 x 20
8					8 bulk	8 x 11		8 x 20
11						11 bulk	11 x 13	11 x 20
13							13 bulk	13 x 20
20								20 bulk

Tabla 2.3 Materiales híbridos del Set de cruzas 2

	1	3	6	10	12	13	20
1	1 bulk	1 x 3	1 x 6	1 x 10	1 x 12	1 x 13	1 x 20
3		3 bulk	3 x 6	3 x 10	3 x 12	3 x 13	3 x 20
6			6 bulk	6 x 10	6 x 12	6 x 13	6 x 20
10				10 bulk	10 x 12	10 x 13	10 x 20
12					12 bulk	12 x 13	
13						13 bulk	13 x 20
20							20 bulk

A pesar de la división realizada en dos sets de cruzamientos, ninguno de los dialélicos fue completo. Los híbridos 6x8 y 8x13 del set 1, y el híbrido 12x20 del set 2, no pudieron lograrse. Para los análisis donde se necesitaron datos de los sets completos, se estimaron los valores promedio de las variables para las cruzas faltantes como la media de todos los cruzamientos donde intervinieron ambos progenitores, excepto los *bulks*. Por

ejemplo, para peso medio del turión de 6x8, se realizó el promedio de los valores medios de ese carácter correspondientes a 4x8, 5x8, 7x8, 8x11, 8x20, 4x6, 5x6, 7x6, 6x11, 6x13 y 6x20.

SIEMBRA

En julio 2018, las semillas recibieron un tratamiento de desinfección pre siembra. Fueron sumergidas en un vaso de precipitado con Hipoclorito de Sodio (39,5 g/L) y agua de ósmosis inversa en partes iguales, durante 5 minutos. Luego se realizaron tres lavados de dilución con agua de ósmosis, y se colocaron en cajas de Petri adaptadas para la germinación de las mismas (con algodón y papel de filtro). Las semillas del material comercial Atticus no fueron desinfectadas, pero compartieron las mismas condiciones de siembra que las semillas provenientes de cruzamientos (Figura 2.7).

Luego de la desinfección se regaron las cajas con agua filtrada por el sistema Mili-Q y se inició la siembra en cámara a temperatura controlada de 25°C y oscuridad constante. Las semillas se regaron con agua filtrada hasta el trasplante, definido por la emergencia de la radícula (Figura 2.8). Este período entre la siembra y la emergencia de la radícula, según los tiempos de germinación de cada material, y se extendió entre tres y cuatro semanas.

Figura 2.7 Siembra de semillas en cajas de Petri.



Figura 2.8 Semillas germinadas en caja de Petri. Emergencia y radícula visible.



ALMÁCIGOS

Durante el transplante las semillas se dispusieron en bandejas multiceldas (plantineras) de plástico con sustrato comercial Dynamics. Las mismas fueron regadas de dos a tres veces por semana con agua de ósmosis inversa, el agua de riego era colocada en las bandejas que contenían a las plantineras (riego por inmersión) (Figura 2.9). En el invernáculo, cada uno de los materiales creció en almácigo por al menos un mes, tiempo necesario que determinó el transplante a campo. Este tiempo en invernáculo permitió extender la etapa de crecimiento de la primera temporada, facilitando que los plantines crezcan en condiciones controladas evitando adversidades climáticas y se logre con mayor éxito su implantación.

Figura 2.9 Plántulas de espárrago creciendo bajo invernáculo, previo trasplante a campo.



TRANSPLANTE A CAMPO – DISEÑO DE LOTES

En septiembre 2018, se realizó el trasplante a campo de los plantines correspondientes a todos los materiales a evaluar (cruzamientos, parentales y testigos) (Figura 2.10). Los materiales implantados se distribuyeron en bloques completamente aleatorizados con 3 repeticiones. Cada unidad experimental consistió en una parcela conformada por 14 plantas, considerando una distancia entre plantas de 0,20 m, y una distancia entre surcos de 1,40 m (ver Figura 2.11).

Figura 2.10 Trasplante de almácigos a campo.



Figura 2.11 Lote de espárrago. Sección Horticultura – Facultad de Ciencias Agrarias, UNR.



MANTENIMIENTO DE LOTES

Finalizado el trasplante se colocó riego artificial, por goteo; y se regó a demanda. Se realizaron, controles de malezas y hormigas todas las semanas, durante los meses de primavera / verano. El control de malezas fue manual, no se aplicaron herbicidas durante el primer año del cultivo. Durante los años siguientes, para el control de malezas, se aplicó herbicida Linuron (Ingrediente activo: Linuron – Dosis: 1,5 l/ha), previo a la brotación (julio - agosto) y luego de la cosecha (octubre – noviembre). Las hormigas fueron controladas con la aplicación de cebo granulado para hormigas Formidor Bayer (Ingrediente activo: Fipronil - Dosis: 10 g/m² de tierra suelta o camino activo).

Durante los años en que se implantó el lote y se recolectaron los datos para la presente tesis (2018 a 2020), en los lotes no presentaron enfermedades/plagas a tratar así como tampoco se realizaron fertilizaciones.

Luego de la cosecha (agosto - octubre en 2019 y julio - noviembre en 2020), durante los meses de otoño/invierno el cultivo entró en su etapa de reposo, dejó de crecer vegetativamente y se secó la parte aérea. Antes de que comience la siguiente temporada de brotación, se realizaron los trabajos de limpieza y recolección de partes aéreas secas, quedando los lotes acondicionados para la brotación de los turiones (primavera). (Figura 2.12).

Figura 2.12. Lote acondicionado para la brotación de primavera.



REPOSICIÓN DE PLANTAS

A mediados del mes de julio 2019, se visualizaron en las parcelas los espacios vacíos donde estarían las plantas faltantes (Figura 2.13). Las mismas se repusieron a partir de material de reposición que se había plantado previamente como bordura con IDs conocidos. Las arañas que se utilizaron para la reposición se veían en buen estado y con yemas visibles (Figura 2.14). Del total de plantas (2520), sólo 89 no lograron implantarse.

Figura 2.13 Detección de “claros” en las parcelas, destino de la reposición.



Figura 2.14 Extracción de araña de la bordura.



COSECHA

Como el cultivo se condujo en suelo sin alomar, con exposición de los turiones a la luz solar, la cosecha de los mismos fue conducida como espárragos verdes. Se realizaron dos temporadas (campañas) de cosecha: la primera temporada “2019” se extendió de agosto a octubre de ese año, y la segunda temporada “2020” se extendió de julio a noviembre de ese año. Cada temporada de cosecha (2019 y 2020) comenzó cuando el primer material experimental de toda la esparraguera, produjo el primer turión cosechable y finalizó cuando la última parcela en iniciar su cosecha cumplió sus días de cosecha establecidos (30 días para la temporada 2019 y 40 días para la temporada 2020).

Es así como, la cosecha del primer turión de cada parcela señaló la fecha de inicio de cosecha para esa unidad experimental (parcela de 14 plantas). El período de cosecha duró 30 días para cada parcela para la primera temporada (2019) y 40 días para la segunda

(2020). Estos 30 y 40 días de corrido, fueron contabilizados de manera independiente para cada unidad experimental permitiendo que todas acumulen iguales días de cosecha.

La cosecha se realizó en forma diaria y consistió en cortar al ras del suelo aquellos turiones que alcanzaban los 20 cm de largo sobre el suelo. Los turiones cosechados fueron colocados en bandejas plásticas (identificadas por cultivar), las cuales fueron luego trasladadas hacia el cuarto de procesamiento de material en la misma Sección de Horticultura (Figura 2.15). Los turiones se cosecharon, procesaron y analizaron en la misma jornada

Figura 2.15 Cosecha a campo, bandejas con materiales identificados.



CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA

La caracterización fenotípica de los materiales experimentales de espárrago, se realizó mediante la evaluación de variables productivas y vegetativas. Las variables productivas fueron: peso del turión, diámetro del turión, calidad del turión, rendimiento total, rendimiento comercial, número de turiones totales por planta (tt/pl), número de turiones comerciales por planta (tc/pl) y precocidad. Las variables vegetativas fueron: altura a la primera ramificación y altura de planta. En la Tabla 2.4, pueden visualizarse las diez variables estudiadas, junto con su código de identificación, unidad o escala y observaciones.

Tabla 2.4 Variables observadas para la caracterización fenotípica

Variables	Código	Unidad / *Escala
Peso del turión	Pt	g
Diámetro del turión (Calibre)	Dt	mm
Calidad del turión	Ct	*Escala 1 - 5

Número total de turiones por planta	tt/pl	N° tt/pl
Número de turiones comerciales por planta	tc/pl	N° tc/pl
Rendimiento total	RendT	kg/parcela
Rendimiento comercial	RendC	kg/parcela
Precocidad	Preco	días
Altura a la primera ramificación	Alt1 ramif	cm
Altura de planta	AltPI	cm

Peso del turión: Se tomaron datos de peso del turión (g), utilizando balanzas digitales y pesando cada turión individualmente.

Diámetro del turión - Calibre: Se midió el diámetro en el tercio inferior del turión (mm), con el uso de un calibre (Figura 2.16).

Figura 2.16 Medición de diámetro en el tercio inferior del turión con calibre.



Calidad del turión: Se evaluó la calidad de cada turión, según una escala que permitió clasificar al espárrago a partir de la apertura de su cabeza o punta, carácter que repercute en su calidad comercial (Figura 2.17). Se evaluó si los turiones eran ramificados (RAMIF = 5), si tenían escamas más que visibles (+V = 4), escamas abiertas visibles (V = 3), escamas poco visibles (-V = 2) o escamas no visibles (NV = 1). A partir de esta escala se estableció que el valor 1 corresponde a mejor calidad y el valor 5 a menor calidad. En la Figura 2.17, pueden visualizarse los distintos grados de apertura de las cabezas de espárragos, y el valor asignado para calidad.

Figura 2.17 Escala según apertura de las cabezas de los turiones. De izquierda a derecha, 5. Ramificado, 4. Escamas muy visibles, 3. Escamas visibles, 2. Escamas poco visibles, y 1. Escamas no visibles.



Número de turiones totales por planta: se contabilización todos los turiones cosechados en cada parcela (repetición). El número de turiones por planta se calculó, con la siguiente fórmula:

$$tt/pl = (\text{número de turiones totales}) / \text{Número de plantas en la parcela}$$

Número de turiones comerciales por planta: se contabilización todos los turiones de valor comercial, cosechados en cada parcela (repetición). El número de turiones comerciales por planta se calculó, con la siguiente fórmula:

$$tc/pl = (\text{número de turiones con calibre } \geq 10\text{mm y calidad } \leq 2) / \text{Número de plantas en la parcela}$$

Rendimiento total: la estimación del rendimiento total, involucró a todos los turiones cosechados (sin distinción de calidad o calibre). Fue calculado con la siguiente fórmula, para cada parcela (repetición):

$$\text{RendT} = [(Pt \text{ (kg)} * Nt) / Npp] * 14$$

Dónde: Pt es el peso promedio de los turiones totales, Nt es el número total de turiones por parcela y el Npp el número de plantas cosechadas por parcela.

Rendimiento comercial: la estimación del rendimiento comercial, involucró a los turiones con valor comercial (es decir, aquellos que alcanzaron un calibre $\geq 10\text{mm}$, y calidad ≤ 2 , en

la escala previamente mencionada). Fue calculado con la siguiente fórmula, para cada parcela (repetición):

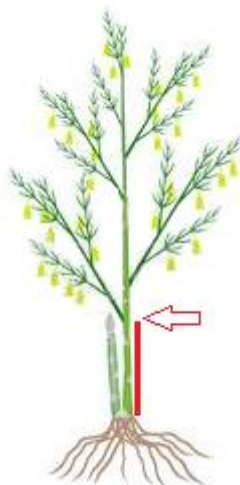
$$\text{RendCom} = [(\text{Ptc (kg)} * \text{Ntc}) / \text{Npp}] * 14$$

Dónde: Ptc es el peso promedio de los turiones comerciales, Ntc es el número de turiones comerciales por parcela y el Npp el número de plantas cosechadas por parcela.

Precocidad: Para estimar la precocidad de cada cultivar, se tomaron datos de fecha de inicio de cosecha de cada una de las parcelas (repetición). Se fijó como patrón el día calendario 01/07 para ambas temporadas de cosecha, debido a que antecede al material más precoz, y se calculó cuántos días de diferencia hubo entre ese día patrón y el inicio de la cosecha de cada parcela. Por ejemplo, en el 2019, el primer material en brotar fue el 13 bulk el día 22/08/2019, si se considera como día patrón el 01/07/2019, para el carácter precocidad a ese material (en esa repetición) le corresponde el valor de 52 días.

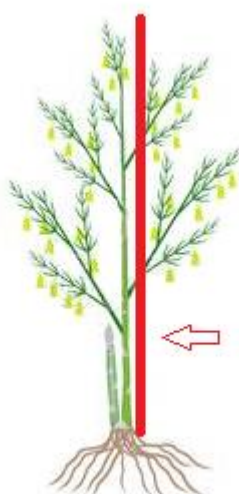
Altura a la primera ramificación: Los datos de altura a la primera ramificación fueron tomados en estadio vegetativo. Luego de haber finalizado la cosecha, las plantas crecen vegetativamente y se extienden en altura hasta la etapa de floración (noviembre – diciembre), momento en que se relevaron los datos vegetativos (100% de plantas florecidas). Se seleccionaron cuatro plantas al azar dentro de cada una de las parcelas, y al tallo principal (identificado como el de mayor altura), se le midió la altura de inserción de la primera ramificación (desde la superficie del suelo). En la Figura 2.18, se puede observar la altura a la primera ramificación, medida en el tallo principal de la planta desde la superficie del suelo hasta la primera rama lateral.

Figura 2.18. Altura a la primera ramificación.



Altura de planta: Se evaluó en el mismo momento y sobre las mismas plantas tomadas a las que se les midió la variable anterior. Se midió la longitud total del tallo principal desde la base (ver Figura 2.19).

Figura 2.19. Altura de planta.



ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS FENOTÍPICOS

NORMALIDAD DE LOS DATOS

Para poder realizar los análisis estadísticos, en primera instancia se evaluó la normalidad de los datos, a través de los residuos estudentizados de todas las variables en estudio.

La prueba de Normalidad planteó como Hipótesis nula, que la distribución de la variable podría considerarse normal; y como Hipótesis alternativa, que la distribución de la variable no sería normal. Se utilizó el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2008), método de Shapiro-Wilk -modificado- (Rahman y Govindarajulu, 1997). Se consideró un nivel de significancia del 1% ($\alpha = 0,01$).

ANÁLISIS DE LA VARIANCIA

Con los datos obtenidos en ambas temporadas de cosecha se estimó el valor medio para cada variable, y fueron sometidos a un análisis de la variancia. La fuente de variación materiales (tratamiento) se desdobló en Cruzamientos, Parentales y contrastes Cruzamientos vs Parentales. Éste análisis permitió evaluar la significancia de las fuentes de variación, y el comportamiento de los Cruzamientos y Parentales frente a cada variable.

Los análisis para cada set de cruzamientos se realizaron por variable, utilizando el procedimiento GLM (The GLM Procedure), modelo lineal generalizado; del programa estadístico SAS (SAS, 2001).

PRUEBA DE COMPARACIÓN DE VALORES MEDIOS

A partir del análisis de la variancia antes mencionado, y para aquellos casos donde la fuente de variación Materiales resultó significativa, reflejando comportamientos diferentes de los materiales, se condujo un análisis múltiple de comparación de valores medios según Duncan. Para las pruebas de comparación de medias se utilizó el programa estadístico InfoStat, considerando un Nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0,05$).

Este análisis se realizó para cada set dialélico en forma individual y luego, para ambos en forma conjunta, incluyendo testigos, para poder comparar de manera conjunta los comportamientos de todos los materiales.

CÁLCULO DE LA HETEROSIS CON RESPECTO AL MEJOR PADRE

La heterosis fue calculada para todas las variables en estudio, como porcentaje de superioridad del híbrido respecto al parental superior según Fehr (1987). La heterosis se calculó para cada híbrido empleando el valor promedio, de los dos años evaluados, de cada variable.

$$\text{Heterosis} = (\text{Promedio Híbrido} - \text{Promedio Mejor Padre}) \div (\text{Promedio Mejor Padre}) \times 100$$

CÁLCULO DE LA HETEROSIS ÚTIL

Se calculó la heterosis útil como el porcentaje de superioridad del híbrido con respecto a un testigo comercial (Atticus), La heterosis se calculó para cada híbrido empleando el valor promedio, de los dos años evaluados, de cada variable.

$$\text{Heterosis útil} = (\text{Promedio Híbrido} - \text{Promedio Híbrido comercial}) \div (\text{Promedio Híbrido comercial}) \times 100$$

EVALUACIÓN DE APTITUD COMBINATORIA GENERAL (ACG) Y APTITUD COMBINATORIA ESPECÍFICA (ACE)

Para evaluar Aptitud Combinatoria General (ACG) y Aptitud Combinatoria Específica (ACE), se condujo el análisis estadístico de acuerdo al método de Griffing II, modelo 1 (Griffing, 1956). La fuente de variación cruzamientos fue desdoblada en los componentes ACG y ACE. Se trabajó con el Método II, considerando progenitores y un set de híbridos (no incluye a los híbridos recíprocos), resultando el número de combinaciones igual a $[(p \cdot (p-1)) + p] / 2$; y el Modelo 1, donde el material experimental se considera como la población en la cual se harán inferencias, considerando fijos los efectos del modelo.

El modelo para el análisis de acuerdo al método II, modelo 1 de Griffing fue:

$$Y_{ijk} = \mu + g_i + g_j + S_{ij} + b_k + e_{ijk}$$

$i, j = 1, 2, 3, \dots, n$

$K = 1, 2, 3$

Donde:

Y_{ijk} = Valor fenotípico observado

μ = media general del experimento

g_i y g_j = efecto de la ACG de cada uno de los progenitores de un híbrido

S_{ij} = efecto de la ACE para el cruzamiento $i \times j$ ($S_{ij} = S_{ji}$)

b_k = efecto de la repetición K

e_{ijk} = error estimado entre genotipo ij y la repetición K

Se testearon las componentes ACG y ACE contra el error determinando su significancia. Se estimó la relación ACG/ACE, para comprobar la relación entre los efectos aditivos y no aditivos en cada carácter. A partir del análisis de los datos del set de cruzamientos en cada variable, el modelo previamente descrito permitió la estimación de los efectos de ACG y ACE.

El análisis fue conducido para cada set de cruzamientos y para todas las variables en estudio.

Se utilizó el programa estadístico RStudio (R Core Team, 2020), con el paquete DiallelAnalysisR (Yaseen y Eskridge, 2020).

ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

A fin de reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos, hallar las causas de la variabilidad y ordenarlas por importancia, se condujo un análisis de Componentes Principales (ACP) y se graficaron bidimensionalmente las primeras dos componentes para todas las variables.

Se determinaron los porcentajes en que cada CP (CP1 y CP2) explicó la variabilidad total. Además se calcularon los autovectores de las CP1 y CP2, indicando el peso de cada una de las variables originales en la conformación de estas nuevas variables. Se determinaron las correlaciones de cada variable original con las CP1 y CP2.

En principio, el análisis se condujo por set dialélico, incluyendo testigos. Posteriormente, el mismo análisis se realizó, para los 60 materiales juntos sin discriminar por set de cruzamiento. Se utilizó el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2008).

ANÁLISIS MODELO SREG

Se realizó un análisis SREG (Modelo de Regresión por sitios) utilizando los valores promedio de cada híbrido experimental y cada una de las accesiones utilizadas como parental para visualizar en un gráfico biplot las asociaciones entre los mismos, detectar accesiones con mayor ACG y aquellas con mayores valores de ACE, y si estas podrían llegar a conformar combinaciones heteróticas según lo propuesto por Yan y Hunt (2002). Si bien la metodología biplot de GGE (Genotype and Genotype-Environment interaction / Genotipo e interacción Genotipo-Ambiente) se desarrolló para el análisis de datos de ensayos multiambientales, puede aplicarse a todos los tipos de datos bidireccionales que asumen una estructura de entrada por probador (López-Anido et al., 2003; Yan y Hunt, 2002; Mayor et al., 2006).

El modelo para el análisis SREG (Modelo de Regresión por sitios) fue:

$$\bar{y}_{ij} = \mu + \delta_j + \sum_{k=1}^t \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + \bar{\epsilon}_{ij}$$

\bar{y} = media del cruzamiento, cruza de los parentales j a i.

μ = media general del experimento

δ = efectos principales del parental (α_{ik}) ($j = 1, 2, \dots, m$) y el parental (γ_{jk}) ($i = 1, 2, \dots, m$), para λ_k .

$\bar{\epsilon}$ = error estimado del experimento

El análisis fue conducido por variable, para las variables calibre de turión, calidad de turión, rendimiento total, rendimiento comercial, tt/pl, tc/pl, altura a la primera ramificación, altura de planta y precocidad.

Se utilizó el programa estadístico GGEbiplot (Vargas y Crossa, 2000).

SEXADO: CUANTIFICACIÓN DE PLANTAS FEMENINAS Y MASCULINAS

La determinación del sexo de las plantas de cada parcela, permitió evaluar de manera individual cada una de las plantas que conforman el ensayo. Las plantas fueron identificadas como femeninas, aquellas que presentaron flores sin polen, con estigmas plumosos blancos y, más adelante, frutos (bayas); y como masculinas a aquellas plantas que presentaron flores con polen (amarillo visible). Se realizó un análisis de Chi Cuadrado de Pearson, para estudiar la distribución de las frecuencias alcanzadas por sexo. Como

hipótesis nula se planteó que la proporción de plantas masculinas y femeninas, se ajustan a un 50 – 50 %. Se trabajó con un nivel de significancia del 1%.

Se utilizó el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2008).

EVALUACIÓN GENOTÍPICA

MATERIAL VEGETAL

La evaluación molecular fue conducida incluyendo todas las accesiones presentadas en la Tabla 2.1, excepto el testigo comercial que no fue incluido; además se sumaron otras accesiones también implantadas en la Sección de Horticultura, las cuales fueron incorporadas para aumentar los orígenes geográficos y poder establecer mayores relaciones con sus distancias genéticas. Se buscó conocer la relación genética entre accesiones, para luego corroborar la posible asociación entre la distancia genética de los parentales, y la heterosis de sus respectivas cruzas. La nómina total de materiales incluidos en el análisis molecular se lista en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5 Accesiones evaluadas genéticamente, mediante marcadores moleculares.

ID	NOMBRE ACCESIÓN	ORIGEN	BREEDING STATUS	NIVEL PLOIDÍA	ROL
1	KBF, Ames 432	Reino Unido	Cultivado	Diploide	2
2	Dansk Kaempe, Ames 424	Dinamarca	Cultivado	Diploide	Testigo no comercial
3	Limburgia	Países Bajos	Cultivado	Diploide	2
4	Espárrago Grueso de Navarra	España	Cultivado	Diploide	1
5	7673	Turquía	Silvestre	Diploide	1
6	Ivancicky	Republica Checa	Cultivado	Diploide	1 y 2
7	Spaganiva	Alemania	Cultivado	Diploide	1
8	Asp 6	Rusia	Cultivado	Diploide	1
10	Asmundtorp	Suecia	Silvestre	Diploide	2
11	Arslev 136	Dinamarca	Cultivado	Diploide	1
12	Argenteuil	Francia	Cultivado	Diploide	2
13	UC 157	Estados Unidos	Cultivado	Diploide	1 y 2

15	Connover Colossal	Reino Unido	Cultivado	Diploide	Testigo no comercial
16	23 Logroño	España	Silvestre	Diploide	Testigo no comercial
17	ASP 8271 - ASP 8284	Estados Unidos	Cultivado	Tetraploide	Testigo no comercial
20	Start	Alemania	Cultivado	Diploide	1 y 2
A	Huchel's Leistungsauslese	Alemania	Cultivado	Diploide	-
B	Haljarp	Suecia	Silvestre	Diploide	-
C	Spangsbjerg N° 2	Dinamarca	Cultivado	Diploide	-
D	Huchel's Schneewittchen	Alemania	Cultivado	Diploide	-
E	Purple passion	Estados Unidos	Cultivado	Tetraploide	-
F	Violetto d'Albenga	Italia	Cultivado	Tetraploide	-
G	Punta Violeta Cereseto	Argentina	Cultivado	Tetraploide	-
H	Apollo	Estados Unidos	Cultivado	Diploide	-
I	<i>A. pseudoscaber</i>		Silvestre	Hexaploide	-

EXTRACCIÓN DE ADN

Se aisló ADN genómico de hojas jóvenes (filocladios) de al menos 10 plantas de cada una de las accesiones, según el método CTAB modificado de Doyle y Doyle (1990). Las hojas (cladófilas) fueron seleccionadas de ramificaciones jóvenes de todas las plantas que conformaban la parcela, en partes iguales; fueron mezcladas y trituradas en nitrógeno líquido. Posteriormente se suspendió en 600 µl de buffer de extracción (EDTA, Tris-HCl (pH 8), NaCl, CTAB) a 65°C. La suspensión fue mezclada suavemente por inversión e incubada en baño térmico a 60-65°C durante 60 minutos. A continuación se adicionó solución cloroformo:isoamil-alcohol (24:1) para luego ser centrifugada durante 15 minutos a 11.500

rpm. El sobrenadante fue transferido a un tubo Eppendorf de 1,5 ml, se adicionaron 600 µl de isopropanol frío, y se mezcló suavemente por inversión. Posteriormente se incubó a -20 °C por 30 minutos. Se efectuó una segunda centrifugación de 10 minutos a 11.500 rpm, luego de la cual se descartó el sobrenadante. El pellet (precipitado) formado fue lavado con 1 ml de etanol frío al 70%, agitado con vortex y posteriormente centrifugado durante 5 minutos, este último paso se repitió una segunda vez. Se descartó el sobrenadante y el pellet se dejó secar toda la noche, para luego resuspenderlo en buffer TBE 1X. Finalmente, se agregaron 2 µl de RNAsa y se incubó a 37 °C durante 30 minutos.

La cuantificación del ADN obtenido se llevó a cabo por comparación con un marcador de peso molecular de concentración conocida (Low molecular weight DNA Ladder, New England BioLabs), mediante electroforesis en gel de agarosa al 1% y posterior tinción con SyberSafe (Invitrogen). A partir de las muestras de ADN obtenidas (ADN Stock) se realizaron diluciones de 10 ng/µl con agua ultrapura, las cuales fueron utilizadas como ADN molde para la amplificación mediante PCR.

EVALUACIÓN CON MARCADORES SRAP

Se probaron un total de 51 combinaciones de cebadores SRAP generadas a partir de 10 cebadores directos (F) y 10 reversos (R). En la Tabla 2.6, se especifican las secuencias de cada uno los cebadores.

Tabla 2.6 Cebadores SRAP directos (F) y reversos (R) usados para el análisis molecular.

Cebadores	Secuencia	Cebadores	Secuencia
F		R	
Me1	5'-TGAGTCCAAACCGGATA-3'	Em1	5'-GACTGCGTACGAATTAAT-3'
Me2	5'-TGAGTCCAAACCGGAGC-3'	Em2	5'-GACTGCGTACGAATTTGC-3'
Me3	5'-TGAGTCCAAACCGGAAT-3'	Em3	5'-GACTGCGTACGAATTGAC-3'
Me4	5'-TGAGTCCAAACCGGACC-3'	Em4	5'-GACTGCGTACGAATTTGA-3'
Me5	5'-TGAGTCCAAACCGGAAG-3'	Em5	5'-GACTGCGTACGAATTAAC-3'
Me6	5'-TGAGTCCAAACCGGTAG-3'	Em6	5'-GACTGCGTACGAATTGCA-3'
Me7	5'-TGAGTCCAAACCGGTTG-3'	Em7	5'-GACTGCGTACGAATTATG-3'
Me8	5'-TGAGTCCAAACCGGTGT-3'	Em8	5'-GACTGCGTACGAATTAGC-3'
Me9	5'-TGAGTCCAAACCGGTCA-3'	Em9	5'-GACTGCGTACGAATTACG-3'
Me10	5'-TGAGTCCAAACCGGGAC-3'	Em10	5'-GACTGCGTACGAATTTAG-3'

Las 51 combinaciones SRAP fueron probadas en un set inicial de 5 accesiones, con el fin de identificar aquellas combinaciones que generen mayor cantidad de bandas totales.

Cada amplificación, de volumen final 20 μ l, consistió en 30 ng de DNA genómico, 0,2 mM de cada dNTPs, 0,5 μ M de cada cebador, solución tampón 1X y 1,5 Unidades de Taq polimerasa (Invitrogen). El protocolo de ciclado fue de: 5 min a 94 °C, 5 ciclos de tres pasos: 1 min a 94 °C, 1 min a 35 °C y 1 min a 72 °C, en los siguientes 35 ciclos la temperatura de hibridación se elevó a 50 °C, finalizando con un paso de elongación de 10 min a 72 °C.

Los productos de amplificación fueron separados mediante electroforesis en geles desnaturizantes de poliacrilamida al 6% (p/v), a 100 W durante un tiempo variable de entre 3 a 4 horas dependiendo del avance del frente de corrida, previa desnaturalización de los productos amplificados a 94°C por 5 min. La visualización de los productos de PCR se realizó mediante tinción con AgNO_3 , al 1% siguiendo el protocolo de Bassam y colaboradores (1991).

REGISTRO (*scoring*) Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS GENOTÍPICOS

A partir de las bandas (amplicones) generadas, se confeccionó una matriz de datos de presencia y ausencia (1 y 0, respectivamente) para cada combinación de cebadores. Se determinó el número total de bandas (loci), el número de loci polimórficos y el contenido de información polimórfica (PIC) para cada combinación de cebadores, utilizando el programa estadístico Infogen (Balzarini y Di Rienzo, 2016).

Se calculó la matriz de distancia de Dice ($\sqrt{1-S}$), considerando $SD = 2A / (2A + B + C)$, donde SD es el coeficiente de Dice, A es el número de bandas comunes a la primera y segunda accesiones, B es el número de bandas exclusivas de la primera accesión y C es el número de bandas únicas de la segunda accesión (Dice, 1945).

Se llevó a cabo un agrupamiento jerárquico, se realizó un dendrograma calculando los valores p de los bootstrap para las diferentes ramas. Los valores p, se calcularon mediante remuestreo de arranque multiescala, para cada grupo en el dendrograma. El valor p de un clúster es un valor entre 0 y 1, lo que indica qué tan fuerte el clúster soporta los datos (confiabilidad). Finalmente, se realizó un Análisis de Coordenadas Principales a partir de la matriz de distancias de Dice, utilizando el método de Vinculación Promedio. Estos análisis se realizaron en conjunto con R Studio (R Studio Team, 2020).

EVALUACIÓN CONJUNTA DE DATOS FENOTÍPICOS Y GENOTÍPICOS

ANÁLISIS DE PROCRUSTES

Se condujo un análisis de Procrustes Generalizado (Gower, 1975) incluyendo las accesiones progenitores de híbridos y testigos no comerciales de las descritas en la Tabla 2.1, las cuales fueron sometidas tanto a evaluación morfológica como molecular. Éste análisis permite combinar en un mismo espacio la información brindada por los caracteres fenotípicos (productivos y vegetativos) y genotípicos. Para ello, se utilizaron los autovectores generados por el ACP de los caracteres fenotípicos y los autovectores generados a partir de un Análisis de Coordenadas Principales (ACooP) utilizando los datos moleculares, con el fin de comprobar la existencia de consenso entre ambos análisis.

Se utilizó el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2008).

CORRELACIÓN ENTRE HETEROSIS Y DISTANCIA GENÉTICA

Se estimó la correlación entre la heterosis calculada a partir del análisis fenotípico de los híbridos experimentales y las distancias genéticas de sus parentales (determinadas a partir de los datos moleculares), a través del Coeficiente de Pearson, utilizando el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2008).

3. RESULTADOS

EVALUACIÓN FENOTÍPICA

En total se procesaron 16.737 turiones de espárrago verde, 5.285 en la primera temporada de cosecha (2019) y 11.442 en la segunda temporada de cosecha (2020).

PRUEBA DE COMPARACIÓN DE VALORES MEDIOS

Los valores medios obtenidos para cada una de las variables evaluadas, en estado vegetativo y productivo, en los 60 materiales evaluados (híbridos experimentales, parentales y testigos) se muestran en la Tabla 3.1. Donde también se presenta el análisis de comparación de valores promedios; donde letras diferentes en cada variable para los distintos materiales, indican diferencias significativas al 5% según la prueba de Duncan.

Para peso del turión los mayores valores medios fueron alcanzados por los materiales Atticus (12,55 g), 12x13 (11,86 g), 5x11 (10,08 g), 10x12 (10,01 g) y 1x12 (9,61 g), las menores medias de éste atributo las obtuvieron 8 bulk (2,95 g), 4x11 (3,67 g), 11x20 (3,70 g) y 4x8 (3,71 g).

Para calibre del turión se destacaron Atticus (9,64 mm) y 12x13 (9,61 mm), 10x12 (8,81 mm), 1x12 (8,68 mm) y 5x11 (8,67 mm). Menores medias presentaron 8 bulk (4,18 mm), 4x11 (4,84 mm) y 4x8 (4,90 mm), 11x20 (4,94 mm), 5x6 (4,97 mm) y 6x11 (4,97 mm).

Los materiales que lograron más alta calidad fueron 12x13 (1,88), Atticus (2,13), 8x11 (2,15) y 13 bulk (2,15), 13x20 (2,26) y 6x13 (2,26). Mientras que los turiones de menor valor comercial se observaron en los bulks 10 (3,47) y 8 (3,47), 17 (3,39), y 4 (3,38).

Para Rendimiento total los valores medios más altos se obtuvieron para 12x13 (1,53 kg/parcela), 10x13 (1,51 kg/parcela), y Atticus (1,42 kg/parcela). Los valores medios más bajos, los obtuvieron 8 bulk (0,18 kg/parcela), 7x8 (0,35 kg/parcela), 5x6 (0,41 kg/parcela), 7 bulk (0,41 kg/parcela) y 7x20 (0,43 kg/parcela).

Para Rendimiento comercial los materiales mejor posicionados fueron 12x13 (1,12 kg/parcela) y Atticus (1,07 kg/parcela), 1x12 (0,71 kg/parcela) y 8x11 (0,67 kg/parcela), 3x12 (0,55 kg/parcela) y 10x12 (0,54 kg/parcela). Los más bajos valores medios fueron para 6x11 (cero), 8 bulk (0,009 kg/parcela), y 7 bulk (0,015 kg/parcela), 4x8 (0,022 kg/parcela) y 11x20 (0,027 kg/parcela).

Para turiones totales por planta los materiales 10x13 (26,00 tt/pl), 13x20 (13,13 tt/pl), y 3x13 (13,00 tt/pl) fueron los de promedios más altos. Los promedios más bajos fueron para

8 bulk (4,52 tt/pl), 12 bulk (5,31 tt/pl), 16 bulk (5,49 tt/pl), 13 bulk (5,99 tt/pl) y 5x11 (6,00 tt/pl).

Los valores medios de turiones comerciales por planta destacaron a los materiales 12x13 (4,39 tc/pl), Atticus (3,72 tc/pl), y 1x12 (3,01 tc/pl). Los más bajos valores medios fueron para 6x11 (cero), 8 bulk (0,06 tc/pl), 7 bulk (0,10 tc/pl) y 4x8 (0,15 tc/pl).

Los materiales que resultaron más precoces fueron 13 bulk (43,00 días), 12x13 (58,83 días), 4x13 (60,33 días) y 11x13 (60,50 días), mientras que los más tardíos fueron 5x11 (78,50 días), 3x13 (77,50 días), 8 bulk (75,83 días) y 1x6 (75,75 días).

Para altura a la primera ramificación, los más altos promedios fueron obtenidos para 13 bulk (48,17 cm), 12x13 (45,50 cm) y 13x20 (45,26 cm), 6x7 (44,92 cm). Los promedios más bajos fueron para 8 bulk (26,38 cm), 12 bulk (28,63 cm) y 10 bulk (30,29 cm).

Para altura de planta, los materiales con promedios más altos fueron 13x20 (189,13 cm), 3x13 (182,00 cm) y 1 bulk (181,92 cm), y 12x13 (179,50 cm). Los materiales con valores medios más bajos fueron 8 bulk (112,75 cm), 4x11 (125,75 cm), y 5x6 (128,63 cm).

Tabla 3.1. Valores medios para las variables Peso turión (Kg), Calibre turión (mm), Calidad turión (Escala 1 – 5), Rendimiento total (Kg/parcela), Rendimiento comercial (Kg/parcela), Número de turiones totales por planta, Número de turiones comerciales por planta, Precocidad (días), Altura a la primera ramificación (cm) y Altura de planta (cm). Letras diferentes dentro de cada variable entre los distintos materiales, indican diferencias significativas al 5%, en la prueba de Duncan.

Cultivar	Peso turión (g)	Calibre turión (mm)	Calidad turión (Escala 1–5)	Rend total (Kg/parcela)	Rend comercial (Kg/parcela)	Número turiones totales/pl	Número turiones comerciales/pl	Precocidad (días)	Altura 1° ramificación (cm)	Altura de planta (cm)
1 bulk	6,49	6,66	3,11	0,73	0,15	7,93	0,74	63,50	39,17	181,92
	EFGHIJ	EFGHIJ	ABCDEFG	FGHIJKLM	FGHIJK	EFGHIJKLMN	IJKLMNO	JKLMNOP	ABCDEFGHIJK	AB
1 x 10	6,70	6,81	3,28	0,90	0,22	9,45	0,99	74,83	31,79	147,17
	DEFGH	EFGHI	ABCDE	DEFGHIJK	DEFGHIJK	BCDEFGHIJKL	HIJKLMNO	ABCDE	HIJKLM	DEFGHIJKL
1 x 12	9,62	8,68	2,36	1,18	0,71	8,70	3,01	64,50	36,50	173,58
	BC	ABC	MNO	ABCDEF	B	DEFGHIJKLM	BC	GHIJKLMN OP	BCDEFGHIJKL	ABCDE
1 x 13	7,00	6,98	2,38	0,93	0,36	9,41	1,78	60,83	36,92	151,17
	DEFG	DEFGH	LMNO	DEFGHIJK	CDEFGH	BCDEFGHIJKL M	DEFGHIJK	NOP	BCDEFGHIJKL	BCDEFGHIJKL
1 x 20	6,49	6,75	2,55	0,81	0,33	9,16	1,77	69,00	37,75	151,00
	EFGHIJ	EFGHI	IJKLMNO	DEFGHIJKLM	CDEFGHIJ	BCDEFGHIJKL M	DEFGHIJKL	BCDEFGHIJKL MNO	BCDEFGHIJKL	BCDEFGHIJKL
1 x 3	6,24	6,59	2,79	0,74	0,22	8,24	1,08	66,83	36,04	161,17
	EFGHIJK	FGHIJK	EFGHIJKLM	FGHIJKLM	DEFGHIJK	EFGHIJKLMN	GHIJKLMN O	EFGHIJKLM NOP	BCDEFGHIJKL	ABCDEFGHIJKL IJ
1 x 6	5,01	5,65	3,15	0,79	0,13	11,02	0,78	75,75	37,25	159,75
	FGHIJKL	GHIJKLM	ABCDEFG	EFGHIJKLM	GHIJK	BCDEFGHI	IJKLMNO	ABC	BCDEFGHIJKL	ABCDEFGHIJKL IJK
10 bulk	4,77	5,68	3,47	0,49	0,06	7,16	0,31	72,50	30,29	139,75
	FGHIJKL	GHIJKLM	A	KLMN	HIJK	HIJKLMN	NO	ABCDEFGHIJKL I	KLM	GHIJKLM
10 x 12	10,01	8,81	2,90	1,08	0,54	7,66	2,24	63,33	36,38	169,08
	BC	AB	BCDEFGHIJK	BCDEFGH	BC	FGHIJKLMN	CDEFGH	JKLMNOP	BCDEFGHIJKL	ABCDEFGHIJKL

10 x 13	4,14	5,05	3,08	1,51	0,15	26,00	1,00	74,00	43,75	159,50
	HIJKL	JKLM	ABCDEFGH	AB	FGHIJK	A	HIJKLMNO	ABCDEF	ABCDE	ABCDEFGH IJK
10 x 20	6,76	6,76	2,81	1,14	0,46	12,00	2,33	75,00	37,83	161,67
	DEFGH	EFGHI	EFGHIJKLM	ABCDEFG	BCDEF	BCDE	CDEFG	ABCDE	BCDEFGHIJ KL	ABCDEFGH IJ
11 bulk	6,72	6,86	2,77	0,85	0,35	8,93	1,73	71,33	37,92	156,00
	DEFGH	EFGH	FGHIJKLM	DEFGHIJKL	CDEFGH	CDEFGHIJKLM	DEFGHIJKL	ABCDEFGH IJKL	BCDEFGHIJ KL	BCDEFGHIJ KL
11 x 13	5,07	5,77	2,81	0,82	0,17	11,60	0,88	60,50	38,38	151,17
	FGHIJK L	GHIJKLM	EFGHIJKLM	DEFGHIJKLM	FGHIJK	BCDEF	IJKLMNO	OP	BCDEFGHIJ K	BCDEFGHIJ KL
11 x 20	3,71	4,94	3,05	0,45	0,03	8,68	0,18	65,83	33,64	140,39
	KL	KLM	ABCDEFGH	KLMN	IJK	DEFGHIJKLM	NO	FGHIJKLMN OP	FGHIJKLM	GHIJKLM
12 bulk	9,07	8,41	3,21	0,66	0,27	5,31	1,20	67,00	28,63	144,08
	CD	ABCD	ABCDEF	HIJKLM	CDEFGHIJK	MN	FGHIJKLMN O	DEFGHIJKL MNOP	LM	DEFGHIJKL
12 x 13	11,86	9,61	1,88	1,53	1,12	9,28	4,39	58,83	45,50	179,50
	AB	A	P	A	A	BCDEFGHIJKL M	A	P	AB	ABC
13 bulk	6,70	6,72	2,15	0,56	0,22	5,99	1,02	43,00	48,17	172,83
	DEFGH	EFGHI	OP	JKLMN	DEFGHIJK	KLMN	HIJKLMNO	Q	A	ABCDEF
13 x 20	5,94	6,29	2,26	1,06	0,32	13,13	1,63	64,00	45,26	189,13
	EFGHIJ K	FGHIJKL	NOP	CDEFGHI	CDEFGHIJK	B	DEFGHIJKL M	IJKLMNOP	AB	A
15 bulk	6,01	6,46	3,07	0,59	0,12	6,88	0,60	64,50	32,88	141,67
	EFGHIJ K	FGHIJKL	ABCDEFGH	JKLMN	GHIJK	IJKLMN	JKLMNO	GHIJKLMN OP	GHIJKLM	FGHIJKLM
16 bulk	6,44	6,74	3,07	0,50	0,16	5,49	0,80	64,17	39,67	170,92
	EFGHIJ	EFGHI	ABCDEFGH	KLMN	FGHIJK	LMN	IJKLMNO	HIJKLMNOP	ABCDEFGH IJK	ABCDEFG IJK
17 bulk	5,05	5,78	3,39	0,50	0,03	7,11	0,18	72,83	34,25	131,33
	FGHIJK L	GHIJKLM	AB	KLMN	HIJK	HIJKLMN	NO	ABCDEFG	EFGHIJKLM	JKLM
2 bulk	5,66	6,24	3,21	0,63	0,11	7,98	0,63	74,00	34,71	158,58
	EFGHIJ K	FGHIJKL	ABCDEF	HIJKLMN	HIJK	EFGHIJKLMN	JKLMNO	ABCDEF	EFGHIJKLM	ABCDEFGH IJK

20 bulk	6,00	6,33	2,85	0,71	0,29	8,37	1,45	69,00	37,58	158,83
	EFGHIJ K	FGHIJKL	DEFGHIJKLM	GHIJKLM	CDEFGHIJK	EFGHIJKLMN	EFGHIJKLM N	BCDEFGHIJ KLMN	BCDEFGHIJ KL	ABCDEF GHIJK
3 bulk	5,66	6,23	3,21	0,88	0,21	11,10	1,13	71,67	35,29	161,58
	EFGHIJ K	FGHIJKL	ABCDEF	DEFGHIJKL	DEFGHIJK	BCDEFGH	FGHIJKLMN O	ABCDEF GHIJK	CDEFGHIJK LM	ABCDEF GHIJK
3 x 10	6,29	6,58	3,12	0,86	0,23	9,72	1,28	73,50	36,19	165,50
	EFGHIJ K	FGHIJK	ABCDEF	DEFGHIJKL	CDEFGHIJK	BCDEFGHIJK	FGHIJKLMN O	ABCDEF	BCDEFGHIJ KL	ABCDEF GHIJK
3 x 12	9,21	8,37	2,66	0,99	0,55	7,81	2,36	61,17	38,00	167,83
	CD	ABCD	GHIJKLMN	CDEFGHIJ	BC	FGHIJKLMN	CDEF	MNOP	BCDEFGHIJ KL	ABCDEF GHIJK
3 x 13	6,95	6,83	2,41	1,27	0,52	13,00	2,67	77,50	40,17	182,00
	DEFG	EFGH	KLMNO	ABCD	BCD	BC	BCDE	AB	ABCDEF GHIJK	AB
3 x 20	5,87	6,43	3,00	0,61	0,19	7,35	0,97	67,17	36,96	170,83
	EFGHIJ K	FGHIJKL	ABCDEF GHIJK	IJKLMN	EFGHIJK	GHIJKLMN	HIJKLMNO	DEFGHIJK LMNO	BCDEFGHIJ KL	ABCDEF GHIJK
3 x 6	5,56	6,10	3,10	0,82	0,20	10,33	0,97	71,50	38,21	164,33
	EFGHIJ KL	FGHIJKL	ABCDEF	DEFGHIJKLM	EFGHIJK	BCDEFGHIJ	HIJKLMNO	ABCDEF GHIJK	BCDEFGHIJ KL	ABCDEF GHIJK
4 bulk	5,02	5,95	3,38	0,70	0,10	9,94	0,55	72,50	32,96	154,83
	FGHIJK L	GHIJKL	ABC	GHIJKLM	HIJK	BCDEFGHIJK	JKLMNO	ABCDEF GHIJK	GHIJKLM	BCDEF GHIJK
4 x 11	3,67	4,84	3,33	0,62	0,07	12,55	0,39	72,67	32,59	125,75
	KL	LM	ABCD	HIJKLMN	HIJK	BCD	MNO	ABCDEF GHIJK	GHIJKLM	LM
4 x 13	7,18	7,25	2,46	1,16	0,49	11,45	2,35	60,33	41,50	164,92
	DEF	CDEFG	KLMNO	ABCDEF	BCDE	BCDEFG	CDEFG	OP	ABCDEF GHIJK	ABCDEF GHIJK
4 x 20	5,66	6,24	3,14	0,86	0,24	10,87	1,20	73,67	38,71	159,17
	EFGHIJ K	FGHIJKL	ABCDEF	DEFGHIJKL	CDEFGHIJK	BCDEFGHI	FGHIJKLMN O	ABCDEF	BCDEFGHIJ K	ABCDEF GHIJK
4 x 5	5,11	5,86	2,88	0,64	0,13	9,12	0,64	68,67	34,96	151,58
	FGHIJK L	GHIJKL	CDEFGHIJKL	HIJKLMN	GHIJK	BCDEFGHIJKL M	JKLMNO	CDEFGHIJK LMNO	DEFGHIJKL M	BCDEF GHIJK
4 x 6	4,99	5,83	2,87	0,72	0,16	10,34	0,84	71,33	36,13	159,67
	FGHIJK L	GHIJKL	DEFGHIJKL	FGHIJKLM	FGHIJK	BCDEFGHIJ	IJKLMNO	ABCDEF GHIJK	BCDEF GHIJK	ABCDEF GHIJK

4 x 7	4,42	5,52	3,04	0,65	0,10	10,45	0,56	71,83	36,38	144,08
	GHIJKL	HIJKLM	ABCDEFGHI	HIJKLM	HIJK	BCDEFGHIJ	JKLMNO	ABCDEFGH IJK	BCDEFGHIJ KL	DEFGHIJKL
4 x 8	3,71	4,91	3,13	0,52	0,02	9,99	0,15	72,50	34,75	139,33
	KL	LM	ABCDEFGF	KLMN	IJK	BCDEFGHIJK	O	ABCDEFGH I	DEFGHIJKL M	HIJKLM
5 bulk	5,33	5,97	2,76	0,57	0,13	7,70	0,64	64,83	42,13	155,50
	EFGHIJ KL	GHIJKL	FGHIJKLM	JKLMN	GHIJK	FGHIJKLMN	JKLMNO	GHIJKLMN OP	ABCDEFGF	BCDEFGHIJ KL
5 x 11	10,08	8,67	2,75	0,85	0,43	6,00	2,00	78,50	31,75	135,00
	BC	ABC	FGHIJKLMN	DEFGHIJKL	BCDEFG	KLMN	CDEFGHI	A	IJKLM	IJKLM
5 x 13	6,56	6,75	2,40	0,92	0,35	9,99	1,74	67,00	38,38	158,88
	EFGHI	EFGHI	LMNO	DEFGHIJK	CDEFGH	BCDEFGHIJK	DEFGHIJKL	DEFGHIJKL MNOP	BCDEFGHIJ K	ABCDEF GHIJK
5 x 20	4,86	5,68	3,11	0,55	0,09	8,10	0,57	68,50	36,00	146,33
	FGHIJK L	GHIJKLM	ABCDEFGF	JKLMN	HIJK	EFGHIJKLMN	JKLMNO	CDEFGHIJK LMNO	BCDEFGHIJ KL	DEFGHIJKL
5 x 6	3,98	4,97	3,09	0,41	0,06	7,27	0,25	70,75	30,51	128,63
	IJKL	KLM	ABCDEFGH	LMN	HIJK	HIJKLMN	NO	ABCDEFGH IJKL	JKLM	KLM
5 x 7	4,52	5,50	3,03	0,66	0,14	10,42	0,75	74,00	34,46	145,67
	FGHIJK L	HIJKLM	ABCDEFGHI	HIJKLM	FGHIJK	BCDEFGHIJ	IJKLMNO	ABCDEF	EFGHIJKLM	DEFGHIJKL
5 x 8	4,44	5,49	3,14	0,51	0,09	8,29	0,51	75,33	34,38	146,75
	GHIJKL	HIJKLM	ABCDEFGF	KLMN	HIJK	EFGHIJKLMN	JKLMNO	ABCDE	EFGHIJKLM	DEFGHIJKL
6 bulk	4,39	5,44	2,86	0,57	0,09	9,35	0,48	70,50	39,94	161,38
	GHIJKL	HIJKLM	DEFGHIJKLM	JKLMN	HIJK	BCDEFGHIJKL M	LMNO	ABCDEFGH IJKL	ABCDEFGH IJK	ABCDEFGH IJ
6 x 10	5,76	6,15	2,48	0,69	0,17	8,33	0,85	68,17	42,29	168,75
	EFGHIJ K	FGHIJKL	KLMNO	GHIJKLM	EFGHIJK	EFGHIJKLMN	IJKLMNO	CDEFGHIJK LMNO	ABCDEFGF	ABCDEF GHIJKL
6 x 11	3,87	4,97	2,44	0,56	0,00	10,40	0,00	72,00	35,13	143,50
	JKL	KLM	KLMNO	JKLMN	K	BCDEFGHIJ	O	ABCDEFGH IJ	DEFGHIJKL M	EFGHIJKL
6 x 12	7,95	7,65	2,79	0,79	0,32	7,60	1,45	63,00	34,25	162,25
	CDE	BCDEF	EFGHIJKLM	EFGHIJKLM	CDEFGHIJK	FGHIJKLMN	EFGHIJKLM N	LMNOP	EFGHIJKLM	ABCDEF GHIJKL

6 x 13	5,65	6,06	2,26	0,79	0,26	10,43	1,09	65,83	38,54	151,50
	EFGHIJ K	FGHIJKL	NOP	EFGHIJKLM	CDEFGHIJK	BCDEFGHIJ	GHIJKLMN O	FGHIJKLMN OP	BCDEFGHIJ K	BCDEFGHIJ KL
6 x 20	4,73	5,52	2,60	0,69	0,13	9,86	0,69	71,17	44,46	170,50
	FGHIJK L	HIJKLM	HIJKLMNO	GHIJKLM	GHIJK	BCDEFGHIJK	JKLMNO	ABCDEF GHIJKL	ABCD	ABCDEF GHIJKL
6 x 7	4,79	5,79	2,41	0,51	0,08	7,61	0,49	68,00	44,92	159,17
	FGHIJK L	GHIJKLM	KLMNO	KLMN	HIJK	FGHIJKLMN	KLMNO	CDEFGHIJK LMNO	ABC	ABCDEF GHIJKL
7 bulk	4,02	5,16	2,84	0,41	0,02	7,26	0,10	69,17	38,63	153,50
	IJKL	IJKLM	DEFGHIJKL	LMN	IJK	HIJKLMN	O	BCDEFGHIJ KLMN	BCDEFGHIJ K	BCDEFGHIJ KL
7 x 11	4,89	5,76	2,52	0,58	0,07	8,28	0,40	70,33	38,33	151,58
	FGHIJK L	GHIJKLM	JKLMNO	JKLMN	HIJK	EFGHIJKLMN	MNO	ABCDEF GHIJKL	BCDEFGHIJ KL	BCDEFGHIJ KL
7 x 13	6,10	6,32	2,39	0,85	0,34	10,04	1,80	64,50	43,25	175,13
	EFGHIJ K	FGHIJKL	LMNO	DEFGHIJKL	CDEFGHI	BCDEFGHIJK	DEFGHIJ	GHIJKLMN OP	ABCDEF	ABCD
7 x 20	4,40	5,48	2,59	0,43	0,05	6,98	0,29	69,33	37,46	140,50
	GHIJKL	HIJKLM	HIJKLMNO	LMN	HIJK	HIJKLMN	NO	BCDEFGHIJ KLM	BCDEFGHIJ KL	GHIJKLM
7 x 8	3,85	5,01	2,82	0,35	0,03	6,50	0,20	74,00	36,84	153,17
	JKL	JKLM	EFGHIJKL	MN	HIJK	JKLMN	NO	ABCDEF	BCDEFGHIJ KL	BCDEFGHIJ KL
8 bulk	2,95	4,18	3,47	0,18	0,01	4,52	0,06	75,83	26,38	112,75
	L	M	A	N	JK	N	O	ABC	M	M
8 x 11	9,09	8,18	2,15	1,24	0,67	9,75	2,75	75,50	40,75	150,75
	CD	ABCDE	OP	ABCDE	B	BCDEFGHIJK	BCD	ABCD	ABCDEF GHIJKL	BCDEFGHIJ KL
8 x 20	5,11	5,72	2,74	0,55	0,14	7,65	0,75	73,00	36,57	149,88
	FGHIJK L	GHIJKLM	FGHIJKLMN	JKLMN	FGHIJK	FGHIJKLMN	JKLMNO	ABCDEF GHIJKL	BCDEFGHIJ KL	CDEFGHIJK L
Atticus	12,54	9,64	2,13	1,42	1,07	7,96	3,72	66,17	40,00	170,25
	A	A	OP	ABC	A	EFGHIJKLMN	AB	FGHIJKLMN OP	ABCDEF GHIJKL	ABCDEF GHIJKL

NORMALIDAD DE LOS DATOS

Considerando la distribución de los residuales de las variables en estudio, todas resultaron con distribución normal al 1% (valores $p > 0,10$ y $W^* 0,97/0,98$). En el Anexo 1, se presenta la Tabla 1.A1 con los valores de normalidad de los residuales de las variables.

SEXADO DE LAS PLANTAS

La relación de sexos de los materiales evaluados, se ajustó al valor esperado para este tipo de materiales dioicos, resultando una proporción 1:1 entre plantas femeninas y masculinas. El Test Chi Cuadrado Pearson, con un $p = 0,9405$, sugirió que no existen diferencias significativas entre la proporción de plantas femeninas y masculinas. En el Anexo 2, se presenta la Tabla 1.A2 que refleja el porcentaje de plantas femeninas y masculinas de cada material evaluado.

ANÁLISIS DE LA VARIANCIA

Los análisis se realizaron por set de cruzamientos y por variable, considerando el promedio de ambos años de evaluación. En el Anexo 3, pueden verse las tablas de ANOVAS completos para ambos sets.

Para el set 1, la fuente de variación cruzamientos resultó significativa con un nivel de significancia del 1%, para todas las variables evaluadas, excepto para altura a la primera ramificación, la cual resultó significativa al 5% ($p=0,016$) (Tabla 3.2). Asimismo, se observaron diferencias significativas al 1% entre parentales, para todas las variables estudiadas (Tabla 3.2). El contraste (cruzamientos vs parentales) resultó significativo, con un nivel de significancia del 1%, para rendimiento total, tt/pl, precocidad; y significativo al 5% para calidad. No resultó significativo para peso del turión, calibre del turión, rendimiento comercial, tc/pl, altura a la primera ramificación y altura de planta (Tabla 3.2).

Para el set 2, la fuente de variación cruzamientos resultó estadísticamente significativa al 1%, para todas las variables excepto para altura a la primera ramificación, la cual resultó significativa al 5% ($p=0,015$); y para altura de planta, la que resultó no significativa (Tabla 3.3). Entre parentales, las diferencias resultaron significativas al 1% para las variables peso del turión, calibre del turión, calidad del turión, altura a la primera ramificación, altura de planta y precocidad; y al 5%, para tt/pl ($p=0,027$). Las variables rendimiento total ($p=0,511$), rendimiento comercial ($p=0,532$) y tc/pl ($p=0,367$) no

presentaron diferencias significativas (Tabla 3.3). La fuente de variación contraste (cruzamientos vs parentales) fue significativa, con un nivel de significancia del 1%, para calidad, rendimiento total, rendimiento comercial, tt/pl; y al 5% para precocidad ($p=0,0217$). Mientras que para peso del turión, calibre del turión, tc/pl, altura a la primera ramificación y altura de planta las diferencias no fueron significativas (Tabla 3.3).

Tabla 3.2: Análisis de la variancia del set 1; para las variables peso de turión, calibre de turión, calidad de turión, rendimiento total (Rend total), rendimiento comercial (Rend comer), turiones totales por planta (tt/pl), turiones comerciales por planta (tc/pl), altura a la primera ramificación (alt 1° ramif), altura de planta (alt planta) y precocidad; para Cruzamientos, Parentales y Contraste Cruzamientos vs Parentales. (gl: grados de libertad, CM: cuadrado medio)

	gl	Peso turión	Calibre turión	Calidad turión	Rend total	Rend comer	tt/pl	tc/pl	Alt 1° ramif	Alt planta	Precocidad
CM Cruzamientos	25	3,82 10-7**	1,46**	0,27**	0,12**	0,05**	8,02**	1,03**	37,64*	448,31**	49,19**
CM Parentales	7	5,21 10-7**	2,08**	0,49**	0,13**	0,05**	9,44**	1,08**	121,66**	905,53**	309,49**
CM Contraste Cruzamientos vs Parentales	1	7,94 10-8 ns	0,05 ns	0,28*	0,20**	0,01 ns	41,09**	0,20 ns	3,71 ns	71,64 ns	130,75**
CM Error	54	1,01 10-7	0,40	0,04	0,03	0,01	3,17	0,24	18,76	197,96	12,24

Asteriscos * y **: significativo para $P \leq 0,05$ y $P \leq 0,01$, respectivamente. Letras ns: no significativo.

Tabla 3.3: Análisis de la variancia del set 2; para las variables peso de turión, calibre de turión, calidad de turión, rendimiento total (Rend total), rendimiento comercial (Rend comer), turiones totales por planta (tt/pl), turiones comerciales por planta (tc/pl), altura a la primera ramificación (alt 1° ramif), altura de planta (alt planta) y precocidad; para Cruzamientos, Parentales y Contraste Cruzamientos vs Parentales. (gl: grados de libertad, CM: cuadrado medio)

	gl	Peso turión	Calibre turión	Calidad turión	Rend total	Rend comer	tt/pl	tc/pl	Alt 1° ramif	Alt planta	Precocidad
CM Cruzamientos	19	1,02 10-6**	3,70**	0,35**	0,15**	0,16**	20,05**	2,38**	35,92*	286,12 ns	69,23**
CM Parentales	6	6,56 10-8**	2,61**	0,54**	0,05 ns	0,02 ns	11,38*	0,47 ns	126,73**	656,78**	313,55**
CM Contraste Cruzamientos vs Parentales	1	6,68 10-6 ns	2,00 ns	1,12**	1,11**	0,37**	79,99**	0,20 ns	39,10 ns	369,79 ns	107,17*
CM Error	42	1,89 10-7	0,73	0,06	0,06	0,03	4,24	0,42	16,08	188,26	18,85

Asteriscos * y **: significativo para $P \leq 0,05$ y $P \leq 0,01$, respectivamente. Letras ns: no significativo.

HETEROSIS CON RESPECTO AL MEJOR PADRE

Los porcentajes de heterosis calculada se observan en las Tablas 3.4 (set 1) y 3.5 (set 2). Para las variables calidad de turión y precocidad, resultan de interés los valores negativos de heterosis estimados, ya que productivamente es deseable precocidad en el cultivo y calidad de turion menor o igual a 2 (escala 1-5).

Si bien para los dos sets de cruzamientos, parte de los híbridos presentaron valores de heterosis no aprovechables para la obtención de híbridos, existieron muchos híbridos experimentales con heterosis aprovechable en las distintas variables en estudio.

En el set 1, las cruzas que expresaron heterosis aprovechable fueron: para peso del turión las cruzas 5x11, 8x11, 6x7, 4x13. Para calibre del turión, 5x11, 8x11, 4x13, 6x7 y 5x13. Para calidad del turión, 8x11, 6x7, 6x11, 4x8, 6x20, 7x11, 7x20, 8x20, 5x11 y 7x8. Para rendimiento total, 4x13, 5x13, 7x13, 13x20, 8x11, 6x13, 4x20, 5x7, 7x20, 4x6 y 5x11. Para rendimiento comercial, 4x13, 7x8, 8x11, 4x6, 5x13, 7x13, 5x11, 6x13, 13x20, 5x7 y 4x7. Para turiones totales por planta, 6x13, 13x20, 5x7, 7x13, 11x13, 5x13, 4x11, 6x20, 6x11, 4x13, 4x20, 8x11, 5x8, 4x7, 6x7, 4x6 y 4x8. Para turiones comerciales por planta, 4x13, 7x8, 7x13, 5x13, 8x11, 4x6, 5x7, 5x11, 13x20, 6x13, 6x7, 4x7 y 4x5. Para altura a la primera ramificación, 6x7, 6x20, 8x11 y 4x8. Para altura de planta, 13x20, 6x20, 7x13 y 4x20. Para precocidad, 11x20 y 6x7 (Tabla 3.4).

Para el set 2, las cruzas que expresaron heterosis aprovechable fueron: para peso del turión las cruzas 12x13, 6x10, 10x20, 3x10, 10x12, 1x12, 1x13, 3x13, 1x10 y 3x12. Para calibre del turión, 1 x 12, 12x13, 6x10, 10x20, 3x10, 10x12, 1x13, 1x10, 3x13, 3x20 y 1x20. Para calidad del turión, 1x12, 3x12, 6x10, 12x13, 1x20, 1x3, 10x12, 6x20, 3x10, 6x12 y 10x20. Para rendimiento total, 10x13, 12x13, 10x12, 10x20, 1x12, 13x20, 3x13, 6x13, 1x13, 1x10, 6x10, 6x12, 3x12, 1x20 y 1x6. Para rendimiento comercial, 12 x 13, 1x12, 3x13, 6x10, 3x12, 10x12, 1x13, 10x20, 1x10, 6x12, 6x13, 1x20, 3x10, 13x20 y 1x3. Para turiones totales por planta, 10x13, 6x13, 10x20, 12x13, 13x20, 6x12, 1x6, 1x10, 1x13, 6x20, 3x13, 6x10, 1x20, 1x12 y 10x12. Para turiones comerciales por planta, 12x13, 6x10, 1x12, 3x13, 3x12, 10x12, 1x13, 10x20, 1x10, 1x20, 6x12, 3x10, 13x20, 6x13 y 1x6. Para altura a la primera ramificación, 10x12, 6x20, 3x12, 6x10, 3x10 y 10x20. Para altura de planta, 10x12, 13x20, 3x20, 6x20, 3x13, 6x10, 3x12, 12x13, 3x10, 10x20, 3x6 y 6x12. Para precocidad, 3x12, 6x12, 10x12, 6x10 y 3x20 (Tabla 3.5).

Tabla 3.4 Porcentajes de Heterosis (% H) para los cultivares del set 1; para las variables peso de turión, calibre de turión, calidad de turión, rendimiento total (Rend total), rendimiento comercial (Rend comer), turiones totales por planta (tt/pl), turiones comerciales por planta (tc/pl), altura a la primera ramificación (alt 1° ramif), altura de planta (alt planta) y precocidad.

Cultivar	Peso turión	Calibre turión	Calidad turión	Rend total	Rend com	tt/pl	tc/pl	Alt 1° ramif	Alt planta	Precocidad
11 x 13	-24,62	-15,92	30,70	-3,38	-52,77	29,86	-48,94	-20,33	-12,54	40,70
11 x 20	-44,88	-28,03	10,07	-46,32	-92,33	-2,76	-89,83	-11,28	-11,61	-4,59
13 x 20	-11,39	-6,33	5,09	49,53	10,70	54,05	12,07	-6,05	9,43	48,84
4 x 11	-45,34	-29,52	20,12	-26,88	-79,33	26,22	-77,51	-14,06	-19,39	1,87
4 x 13	7,07	7,92	14,56	65,74	119,92	15,12	130,72	-13,84	-4,58	40,31
4 x 20	-5,84	-1,49	10,24	22,11	-18,26	9,34	-17,14	3,00	0,21	6,76
4 x 5	-4,23	-1,91	4,48	-8,97	-1,50	-8,30	0,38	-17,02	-2,52	5,91
4 x 6	-0,46	-2,05	0,65	3,50	66,91	3,98	52,75	-9,54	-1,06	1,18
4 x 7	-12,00	-7,28	6,87	-6,88	6,70	5,05	2,39	-5,82	-6,94	3,86
4 x 8	-26,13	-17,60	-9,56	-25,76	-77,07	0,48	-73,26	5,44	-10,01	0,00
5 x 11	50,02	26,28	-0,68	0,18	22,71	-32,81	15,68	-24,64	-13,46	21,08
5 x 13	-2,14	0,46	11,48	60,24	58,87	29,70	70,99	-20,33	-8,08	55,81
5 x 20	-19,04	-10,38	12,84	-22,15	-68,01	-3,31	-60,59	-14,55	-7,87	5,66
5 x 6	-25,44	-16,86	11,82	-29,27	-55,54	-5,64	-60,96	-27,59	-20,29	9,13
5 x 7	-15,33	-7,86	9,93	14,98	10,03	43,42	17,39	-18,21	-6,32	14,14
5 x 8	-16,75	-8,17	13,83	-10,70	-29,13	7,69	-19,93	-18,40	-5,63	16,20
6 x 11	-42,49	-27,56	-11,79	-33,44	-100,00	16,46	-100,00	-12,04	-11,08	2,13
6 x 13	-15,73	-9,85	5,13	40,34	14,48	74,02	7,21	-19,98	-12,34	53,10
6 x 20	-21,22	-12,83	-9,08	-2,06	-56,09	17,71	-52,11	11,32	5,65	3,14
6 x 7	8,88	6,37	-15,20	-11,05	-4,85	4,82	2,48	12,47	-1,37	-1,69
7 x 11	-27,29	-16,01	-8,99	-31,76	-80,91	-7,27	-76,89	-0,76	-1,25	1,69
7 x 13	-9,06	-5,94	10,99	50,42	52,95	38,16	77,08	-10,21	1,33	50,00

7 x 20	-26,73	-13,41	-8,81	5,57	-82,68	-3,96	-80,30	-3,01	-11,54	0,48
7 x 8	-4,21	-2,85	-0,79	-13,51	110,67	-10,51	101,01	-4,63	-0,22	6,99
8 x 11	35,24	19,18	-22,21	46,75	89,51	9,18	59,06	7,46	-3,37	5,84
8 x 20	-14,90	-9,71	-3,89	-22,71	-51,67	-8,63	-48,28	-2,71	-5,64	5,80

Tabla 3.5 Porcentajes de Heterosis (% H) para los cultivares del set 2; para las variables peso de turión, calibre de turión, calidad de turión, rendimiento total (Rend total), rendimiento comercial (Rend comer), turiones totales por planta (tt/pl), turiones comerciales por planta (tc/pl), altura a la primera ramificación (alt 1° ramif), altura de planta (alt planta) y precocidad.

Cultivar	Peso turión	Calibre turión	Calidad turión	Rend total	Rend com	tt/pl	tc/pl	Alt 1° ramif	Alt planta	Precocidad
1 x 10	3,12	2,22	5,21	22,91	50,08	19,17	33,69	-18,83	-19,10	17,85
1 x 12	6,00	30,32	-24,08	60,53	160,80	9,65	150,30	-6,81	-4,58	1,57
1 x 13	4,47	4,74	10,77	25,96	59,71	18,62	75,50	-23,36	-16,90	41,47
1 x 20	0,00	1,31	-10,67	9,84	13,53	15,45	22,02	-3,63	-16,99	8,66
1 x 3	-3,84	-1,11	-10,26	-15,79	3,93	-25,78	-3,90	-7,98	-11,41	5,25
1 x 6	-22,85	-15,17	10,21	6,80	-8,89	38,91	5,39	-6,74	-12,19	19,29
10 x 12	10,40	4,79	-9,82	123,77	97,72	6,98	86,13	20,09	17,35	-5,47
10 x 13	-38,33	-24,85	43,06	167,75	-34,06	262,98	-1,62	-9,18	-7,71	72,09
10 x 20	12,65	6,79	-1,51	60,75	59,48	67,53	60,92	0,66	1,79	8,70
12 x 13	30,72	14,35	-12,69	130,06	308,49	54,77	265,63	-5,54	3,86	36,82
13 x 20	-11,39	-6,33	5,09	49,53	10,70	54,05	12,07	-6,05	9,43	48,84
3 x 10	11,18	5,56	-3,07	-2,09	13,22	-12,43	13,26	2,54	2,42	2,56
3 x 12	1,49	-0,41	-17,16	13,38	99,83	-29,66	96,19	7,67	3,87	-8,71
3 x 13	3,64	1,73	12,06	44,59	133,41	17,09	136,36	-16,61	5,30	80,23
3 x 20	-2,32	1,47	5,15	-30,44	-36,13	-33,82	-33,43	-1,66	5,72	-2,66
3 x 6	-1,72	-2,07	8,64	-6,09	-3,88	-6,93	-14,45	-4,33	1,70	1,42

6 x 10	20,66	8,29	-13,22	20,58	105,02	16,34	173,82	5,89	4,57	-3,31
6 x 12	-12,34	-8,97	-2,40	18,76	17,61	43,32	20,73	-14,25	0,54	-5,97
6 x 13	-15,73	-9,85	5,13	40,34	14,48	74,02	7,21	-19,98	-12,34	53,10
6 x 20	-21,22	-12,83	-9,08	-2,06	-56,09	17,71	-52,11	11,32	5,65	3,14

HETEROSIS ÚTIL

Los porcentajes de heterosis útil calculada, se observan en la Tabla 3.6 La mayor parte de los híbridos, presentaron valores de heterosis útil menores al 0%.

Para peso y calibre de turión no existieron valores de heterosis útil con los cuales las cruzas demuestren mejores comportamientos que el testigo comercial Atticus. Las cruzas que demostraron obtener valores de heterosis útil superiores al 0% fueron: para calidad del turión 12x13. Para rendimiento total, 12x13 y 10x13. Para rendimiento comercial 12x13. Para turiones totales por planta, 10x13, 13x20, 3x13, 4x11, 10x20, 11x13, 4x13, 1x6, 4x20, 4x7, 6x13, 5x7, 6x11, 4x6, 3x6, 7x13, 4x8, 5x13, 6x20, 8x11, 3x10, 1x10, 1x13, 12x13, 1x20, 4x5, 1x12, 11x20, 6x10, 5x8, 7x11, 1x3 y 5x20. Para turiones comerciales por planta, 12x13. Para altura a la primera ramificación, 12x13, 13x20, 6x7, 6x20, 10x13, 7x13, 6x10, 4x13, 8x11 y 3x13. Para altura de planta, 13x20, 3x13, 12x13, 7x13, 1x12, 3x20 y 6x20. Para precocidad, 12x13, 4x13, 11x13, 1x13, 3x12, 6x12, 10x12, 13x20, 7x13, 1x12, 6x13 y 11x20 (Tabla 3.6).

Tabla 6.3 Porcentajes de heterosis útil (% HU) de los híbridos experimentales con respecto a Atticus; para las variables peso de turión, calibre de turión, calidad de turión, rendimiento total (Rend total), rendimiento comercial (Rend comer), turiones totales por planta (tt/pl), turiones comerciales por planta (tc/pl), altura a la primera ramificación (alt 1° ramif), altura de planta (alt planta) y precocidad.

Cultivar	Peso turión	Calibre turión	Calidad turión	Rend total	Rend comer	tt/pl	tc/pl	Alt 1° ramif	Alt planta	Precocidad
1 x 10	-46,62	-29,32	53,93	-36,59	-79,25	18,81	-73,29	-20,52	-13,56	13,10
1 x 12	-23,36	-9,89	11,08	-17,18	-33,21	9,32	-19,05	-8,74	1,96	-2,52
1 x 13	-44,17	-27,58	11,96	-35,01	-66,60	18,26	-51,98	-7,71	-11,21	-8,06
1 x 20	-48,24	-29,95	19,58	-43,33	-69,15	15,10	-52,37	-5,63	-11,31	4,28
1 x 3	-50,23	-31,62	31,30	-48,25	-79,84	3,56	-70,81	-9,89	-5,34	1,01
1 x 6	-60,06	-41,35	47,85	-44,90	-87,41	38,49	-78,95	-6,88	-6,17	14,48
10 x 12	-20,18	-8,56	36,21	-23,89	-49,36	-3,69	-39,80	-9,05	-0,69	-4,28
10 x 13	-67,04	-47,61	44,60	5,75	-86,21	226,78	-73,08	9,38	-6,31	11,84
10 x 20	-46,09	-29,81	31,84	-20,15	-56,66	50,82	-37,19	-5,43	-5,04	13,35
11 x 13	-59,61	-40,12	32,11	-42,60	-84,33	45,76	-76,24	-4,06	-11,21	-8,56
11 x 20	-70,47	-48,74	43,23	-68,11	-97,46	9,14	-95,27	-15,89	-17,54	-0,50
12 x 13	-5,49	-0,23	-11,75	7,23	4,61	16,57	18,25	13,76	5,43	-11,08
13 x 20	-52,65	-34,71	6,22	-25,73	-69,92	64,96	-56,26	13,14	11,09	-3,27
3 x 10	-49,89	-31,73	46,05	-39,83	-78,04	22,19	-65,60	-9,53	-2,79	11,08
3 x 12	-26,62	-13,10	24,82	-30,32	-48,83	-1,85	-36,55	-5,00	-1,42	-7,56
3 x 13	-44,61	-29,09	13,27	-11,14	-51,19	63,39	-28,22	0,43	6,90	17,13
3 x 20	-53,25	-33,30	40,76	-57,25	-82,64	-7,65	-74,02	-7,60	0,34	1,51
3 x 6	-55,70	-36,67	45,74	-42,29	-81,36	29,87	-74,02	-4,48	-3,48	8,06
4 x 11	-70,71	-49,80	56,30	-56,56	-93,14	57,75	-89,53	-18,53	-26,14	9,82
4 x 13	-42,78	-24,77	15,79	-18,70	-54,01	43,89	-36,87	3,76	-3,13	-8,82
4 x 20	-54,93	-35,25	47,57	-39,35	-77,79	36,66	-67,66	-3,23	-6,51	11,34
4 x 5	-59,29	-39,19	35,50	-55,35	-88,12	14,61	-82,69	-12,60	-10,96	3,78
4 x 6	-60,20	-39,48	35,03	-49,23	-84,75	29,97	-77,42	-9,67	-6,22	7,81

4 x 7	-64,81	-42,71	42,65	-54,32	-90,25	31,30	-84,86	-9,05	-15,37	8,56
4 x 8	-70,46	-49,09	47,27	-63,58	-97,90	25,58	-96,05	-13,12	-18,16	9,57
5 x 11	-19,63	-10,06	29,23	-40,48	-59,29	-24,59	-46,16	-20,63	-20,70	18,64
5 x 13	-47,70	-29,97	12,68	-35,41	-66,77	25,53	-53,21	-4,06	-6,68	1,26
5 x 20	-61,25	-41,10	46,33	-61,33	-91,31	1,74	-84,62	-10,00	-14,05	3,53
5 x 6	-68,31	-48,46	45,02	-71,49	-94,64	-8,67	-93,27	-23,74	-24,45	6,93
5 x 7	-64,01	-42,88	42,57	-53,65	-86,73	30,94	-79,76	-13,85	-14,44	11,84
5 x 8	-64,61	-43,07	47,63	-64,01	-91,45	4,23	-86,20	-14,06	-13,80	13,85
6 x 10	-54,11	-36,15	16,42	-51,38	-83,71	4,74	-77,05	5,73	-0,88	3,02
6 x 11	-69,19	-48,41	14,77	-60,45	-100,00	30,71	-100,00	-12,18	-15,71	8,82
6 x 12	-36,62	-20,57	30,94	-44,65	-69,88	-4,43	-60,95	-14,38	-4,70	-4,79
6 x 13	-54,97	-37,16	6,26	-44,57	-76,06	31,07	-70,67	-3,64	-11,01	-0,50
6 x 20	-62,30	-42,70	21,97	-51,36	-88,07	23,86	-81,31	11,15	0,15	7,56
6 x 7	-61,86	-39,92	13,20	-64,13	-92,44	-4,31	-86,74	12,30	-6,51	2,77
7 x 11	-61,05	-40,18	18,42	-59,46	-93,67	4,08	-89,24	-4,17	-10,96	6,30
7 x 13	-51,40	-34,43	12,18	-40,59	-68,01	26,13	-51,55	8,13	2,86	-2,52
7 x 20	-64,93	-43,09	21,73	-69,73	-95,29	-12,32	-92,31	-6,34	-17,47	4,79
7 x 8	-69,34	-48,00	32,43	-75,20	-97,03	-18,30	-94,65	-7,91	-10,03	11,84
8 x 11	-27,55	-15,12	1,22	-12,82	-37,12	22,54	-25,97	1,88	-11,45	14,11
8 x 20	-59,27	-40,65	28,65	-61,61	-86,87	-3,85	-79,81	-8,59	-11,97	10,33

Se distinguen resaltados los valores de heterosis útil, que demostraron alcanzar mejores comportamientos que el testigo comercial.

EVALUACIÓN DE ACG Y ACE

Para el set 1 se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,001$) para los efectos de ACG para todas las variables evaluadas. Para ACE, en el mismo set, se observaron diferencias estadísticamente significativas para todas las variables productivas, excepto para tt/pl que presentó diferencias significativas a un valor de $p < 0,01$; mientras que para las vegetativas, altura a la primera ramificación ($p = 0,0144$) y altura de planta ($p = 0,01286$), las diferencias observadas fueron significativas a un valor de $p < 0,05$.

Para el set 2 se encontraron diferencias estadísticamente significativas para los efectos de ACG para todas las variables; excepto para altura de planta ($p = 0,08793$), que no fue significativa ($p > 0,05$). Mientras que para ACE, se observaron diferencias estadísticamente significativas para calidad del turión, rendimiento total, rendimiento comercial, tt/pl, tc/pl y precocidad; mientras que las variables peso del turión ($p = 0,04321$), altura a la primera ramificación ($p = 0,02246$) y altura de plantas ($p = 0,01324$), presentaron diferencias significativas a un valor de $p < 0,05$; y la variable calibre del turión ($p = 0,0519$), no presentó diferencias significativas ($p > 0,05$).

En el Anexo 4, pueden verse las significancias de ACG y ACE, las relaciones de ACG/ACE, y los efectos de ACG y ACE; discriminados por Set y por carácter.

Los valores de ACG y ACE, y la relación ACG/ACE para los sets 1 y 2 pueden visualizarse en la siguiente tabla (Tabla 3.7).

Tabla 3.7 Valores de ACG, ACE y la relación ACG/ACE.

Atributo	Set	ACG	ACE	ACG/ACE
Peso del turión	Set 1	2,81e-07**	1,52e-06**	1,85e-01
	Set 2	1,15e-06**	5,41e-07*	2,12150
Calibre del turión	Set 1	0,09503**	0,59374**	0,16005
	Set 2	0,41402**	0,19390 ^{ns}	2,13533
Calidad del turión	Set 1	0,03091**	0,05111**	0,60467
	Set 2	0,04211**	0,06495**	0,64839
Rendimiento total	Set 1	0,00761**	0,03093**	0,24602
	Set 2	0,00587**	0,04881**	0,12028
Rendimiento comercial	Set 1	0,00274**	0,01683**	0,16255
	Set 2	0,00875**	0,02906**	0,30105
Número de turiones totales/planta	Set 1	0,56630**	1,66671**	0,33977
	Set 2	1,20285**	12,53324**	0,09597
Número de turiones comerciales/planta	Set 1	0,06237**	0,31856**	0,19577
	Set 2	0,14423**	0,45067**	0,32003
Altura a la primera ramificación	Set 1	4,10001**	6,26000*	0,65495
	Set 2	5,02758**	5,71464*	0,87977
Altura de planta	Set 1	39,42517**	67,91540*	0,58050
	Set 2	6,93638 ^{ns}	77,35761*	0,08967

Precocidad	Set 1	12,89246**	8,88306**	1,45135
	Set 2	10,82338**	25,09949**	0,43122

** significativo al 1%, * significativo al 5% y ^{ns} no significativo.

Las variables que presentaron una relación ACG/ACE mayor a 1, indicando que los efectos aditivos son mayores a los no aditivos, fueron Peso del turión y Calibre del turión para el set 2 y Precocidad para el set 1. Las demás variables, en ambos sets, presentaron valores de ACE superiores a la ACG, demostrando que los efectos no aditivos resultan más importantes que los aditivos.

En las Tablas 3.8 y 3.9 se presentan los efectos de las ACG, para todos los parentales por set dialélico.

Tabla 3.8 Valores obtenidos para ACG de cada una de las variables evaluadas en el set 1; para las variables peso de turión, calibre de turión, calidad de turión, rendimiento total (Rend total), rendimiento comercial (Rend comer), turiones totales por planta (tt/pl), turiones comerciales por planta (tc/pl), altura a la primera ramificación (alt 1° ramif), altura de planta (alt planta) y precocidad.

Parental	Peso turión	Calibre turión	Calidad turión	Rend total	Rend comer	tt/pl	tc/pl	Alt 1° ramif	Alt pl	Precocidad
4	-0,00021	-0,05275	0,26499	0,06202	-0,01343	1,31885	-0,04873	-1,72885	-1,11068	1,27208
5	0,00033	0,19842	0,09532	-0,02642	0,00097	-0,68906	0,00360	-1,35452	-4,14401	0,91375
6	-0,00054	-0,30692	-0,08634	-0,04684	-0,05361	0,21775	-0,27672	0,89368	2,21201	0,57375
7	-5,93e-04	-0,31575	-0,04935	-0,10985	-0,06985	-0,66735	-0,30233	1,06648	1,10182	0,70542
8	-0,00047	-0,36542	0,134054	-0,11319	-0,02576	-1,21601	-0,15100	-2,69895	-9,65280	3,65875
11	0,00069	0,39858	-0,03802	0,08665	0,06016	0,36514	0,23430	-1,18218	-5,51334	1,47208
13	0,00084	0,47758	-0,34263	0,14098	0,09860	0,61764	0,49169	4,10118	12,27868	-8,61792
20	-4,94e-05	-0,03375	0,02199	0,00665	0,00292	0,05303	0,04920	0,90315	4,82832	0,02208

Tabla 3.9 Valores obtenidos para ACG de cada una de las variables evaluadas en el set 2; para las variables peso de turión, calibre de turión, calidad de turión, rendimiento total (Rend total), rendimiento comercial (Rend comer), turiones totales por planta (tt/pl), turiones comerciales por planta (tc/pl), altura a la primera ramificación (alt 1° ramif), altura de planta (alt planta) y precocidad.

Parental	Peso turión	Calibre turión	Calidad turión	Rend total	Rend comer	tt/pl	tc/pl	Alt 1° ramif	Alt pl	Precocidad
1	1,16e-05	0,05511	0,07381	-0,02491	-0,02525	-0,67756	-0,11356	-1,27078	-0,41590	-0,13058
3	-0,00028	-0,10360	0,15585	0,00027	-0,01967	0,07971	-0,03915	-1,09707	2,60262	2,34164
6	-0,00117	-0,69712	0,00011	-0,14572	-0,12331	-0,18471	-0,56988	0,98367	-1,28627	1,83238
10	-0,00053	-0,30767	0,27844	0,01307	-0,06506	1,06187	-0,29003	-1,91226	-6,69331	3,76757
12	2,31e-03	1,39270	-0,05434	0,07947	0,17804	-1,90917	0,66707	-2,23936	-0,84951	-3,15966
13	1,11e-04	-0,00545	-0,38804	0,12942	0,07456	1,69804	0,29624	4,49385	5,22762	-5,88058
20	-0,00046	-0,33400	-0,06582	-0,05160	-0,01931	-0,06819	0,04931	1,04194	1,41475	1,22923

Teniendo en cuenta las características de las variables analizadas y las escalas utilizadas para su análisis, son deseables mayores valores positivos para las variables peso de turión, calibre de turión, rendimiento total, rendimiento comercial, turiones totales por planta, turiones comerciales por planta, altura a la primera ramificación y altura de planta; mientras que para las variables calidad de turión y precocidad, son deseables valores más negativos.

En el Set 1, los mayores valores de ACG para todas las variables, excepto turiones totales por planta, se obtuvieron para el parental 13 (UC157), mientras que para tt/pl el parental el 4 (Gruoso de Navarra), fue el que presentó mayor valor.

En el Set 2, los mayores valores de ACG para peso del turión, calibre del turión, rendimiento comercial y turiones comerciales por planta se observaron para el parental 12 (Argenteuil); mientras que para calidad del turión, rendimiento total, turiones totales por planta, altura a la primera ramificación, altura de planta y precocidad, el parental 13 (UC157) fue el que presentó los mayores valores.

En las siguientes tablas (Tabla 3.10 y Tabla 3.11), pueden observarse las ACE resultantes de los cruzamientos correspondientes al set 1 y al set 2, respectivamente.

Tabla 3.10 Valores obtenidos para ACE de cada una de las variables evaluadas en el set 1; para las variables peso de turión, calibre de turión, calidad de turión, rendimiento total (Rend total), rendimiento comercial (Rend comer), turiones totales por planta (tt/pl), turiones comerciales por planta (tc/pl), altura a la primera ramificación (alt 1° ramif), altura de planta (alt planta) y precocidad.

Cultivar	Peso turión	Calibre	Calidad	Rend total	Rend comer	tt/pl	tc/pl	Alt 1° ramif	Alt pl	Precocidad
11 x 13	-0,00168	-0,98070	0,41952	-0,07080	-0,16337	1,56177	-0,70009	-2,12365	-7,29572	-1,60741
11 x 20	-2,15e-03	-1,29937	0,28824	-0,29952	-0,20760	-0,78693	-0,96455	-3,65895	-10,62203	-4,91407
13 x 20	-6,25e-05	-0,02837	-0,19381	0,24924	0,04753	3,40181	0,22724	2,66935	20,32095	3,34259
4 x 11	-0,00201	-1,38370	0,32857	-0,19058	-0,14526	1,81508	-0,65357	-2,08362	-19,32303	0,66926
4 x 13	0,00134	0,95063	-0,23348	0,29396	0,23345	0,45941	1,04540	1,54969	2,05162	-1,57407
4 x 20	7,06e-04	0,44863	0,07857	0,13441	0,07565	0,44923	0,34412	1,95439	3,75197	3,11926
4 x 5	-0,00022	-0,16354	-0,25476	-0,06023	-0,03251	-0,56326	-0,16889	0,46205	5,14097	-2,77241
4 x 6	0,00054	0,31846	-0,07978	0,04730	0,05798	-0,24846	0,30740	-0,61615	6,86828	0,23426
4 x 7	1,02e-05	0,01396	0,04657	0,03784	0,01556	0,74286	0,05645	-0,53895	-7,60486	0,60259
4 x 8	-0,00082	-0,55304	-0,03683	-0,09065	-0,11012	0,83670	-0,51034	1,59982	-1,60024	-1,68407
5 x 11	0,00385	2,19846	-0,08176	0,12664	0,20123	-2,72860	0,90522	-3,29462	-7,03970	6,86093
5 x 13	0,00018	0,19946	-0,13215	0,14456	0,08296	1,00700	0,38593	-1,95298	-0,95672	5,45093
5 x 20	-6,31e-04	-0,36254	0,22490	-0,09003	-0,08287	-0,32125	-0,33824	-1,12995	-6,04803	-1,68907
5 x 6	-0,00103	-0,80104	0,30156	-0,18110	-0,06183	-1,31454	-0,33376	-6,61548	-21,14005	0,00926
5 x 7	-4,34e-04	-0,25387	0,21624	0,13571	0,03872	2,72177	0,19368	-2,83328	-2,98819	3,12759
5 x 8	-0,00064	-0,22087	0,13617	-0,00827	-0,05572	1,14559	-0,19667	0,84882	8,84976	1,50759
6 x 11	-0,00150	-0,99620	-0,21011	-0,13714	-0,17819	0,76460	-0,81446	-2,16282	-4,89572	0,70093
6 x 13	0,00014	0,00813	-0,08216	0,03457	0,03859	0,54031	0,01790	-4,03285	-14,68774	4,62426
6 x 20	1,07e-04	-0,01387	-0,11345	0,07236	0,00625	0,53141	0,06509	5,08185	11,76262	1,31759
6 x 7	7,05e-04	0,53813	-0,22878	0,00705	0,03238	-0,98936	0,21484	5,37852	4,15578	-2,53241
7 x 11	-0,00042	-0,19404	-0,16710	-0,05993	-0,09444	-0,46948	-0,38928	0,86772	4,29781	-1,09741
7 x 13	0,00064	0,28363	0,00752	0,15424	0,14056	1,03290	0,75376	0,50102	10,04745	3,15926
7 x 20	-1,70e-04	-0,04170	-0,15710	-0,12610	-0,05455	-1,46201	-0,31803	-2,08762	-17,12719	-0,64741
7 x 8	-0,00031	-0,18004	-0,03916	-0,08412	-0,04438	-0,66850	-0,20476	0,88782	10,02060	0,38259
8 x 11	0,00365	2,27230	-0,72049	0,60716	0,46421	1,54835	1,80981	7,04982	14,21910	1,11593
8 x 20	4,15e-04	0,24463	-0,19049	-0,00724	-0,00881	-0,23954	-0,00509	0,77949	3,00243	0,06593
6 x 8	0,00052	0,57780	-0,08370	0,14204	0,06430	0,98693	0,18833	1,82429	7,42896	-4,55241
8 x 13	-0,00017	-0,20670	0,08627	-0,04578	-0,08790	0,58704	-0,08259	-1,38322	-2,63771	4,63926

Tabla 3.11 Valores obtenidos para ACE de cada una de las variables evaluadas en el set 2; para las variables peso de turión, calibre de turión, calidad de turión, rendimiento total (Rend total), rendimiento comercial (Rend comer), turiones totales por planta (tt/pl), turiones comerciales por planta (tc/pl), altura a la primera ramificación (alt 1° ramif), altura de planta (alt planta) y precocidad.

Cultivar	Peso turión	Calibre	Calidad	Rend total	Rend comer	tt/pl	tc/pl	Alt 1° ramif	Alt pl	Precocidad
1 x 10	0,00047	0,27852	0,16495	0,03608	0,00033	-0,67391	-0,09497	-3,27784	-9,65035	3,70569
1 x 12	5,45e-04	0,44815	-0,41560	0,24584	0,24801	1,54194	0,96319	1,75926	10,92253	0,29958
1 x 13	1,39e-04	0,14296	-0,06190	-0,05788	-0,00443	-1,35355	0,11059	-4,56062	-17,57127	-0,64616
1 x 20	0,00020	0,24148	-0,22079	0,00478	0,06230	0,16128	0,34286	-0,27537	-13,92507	0,41070
1 x 3	-0,00023	-0,15222	-0,19579	-0,11706	-0,05133	-0,90481	-0,25366	0,15698	-4,94627	-2,86838
1 x 6	-0,00058	-0,49037	0,31662	0,07659	-0,02833	2,13891	-0,02513	-0,71710	-2,47405	6,55754
10 x 12	1,48e-03	0,94093	-0,08690	0,11240	0,11563	-1,23229	0,36860	2,27741	12,69993	-4,76523
10 x 13	-2,19e-03	-1,42426	0,43014	0,48430	-0,17364	13,49750	-0,49683	2,91420	-2,96053	8,62236
10 x 20	0,00101	0,61426	-0,16208	0,29664	0,23523	1,26373	1,08343	0,44611	3,02234	2,51255
12 x 13	2,69e-03	1,43871	-0,43708	0,43899	0,55137	-0,25644	1,93893	4,99463	11,19567	0,38292
13 x 20	-0,00045	-0,15796	-0,04560	0,10096	-0,04571	1,75256	-0,21117	1,46500	18,55641	1,16070
3 x 10	0,00035	0,20389	-0,08875	-0,03523	0,00770	-1,16195	0,11633	0,94512	5,66447	-0,09986
3 x 12	4,29e-04	0,29686	-0,20430	0,03374	0,07598	-0,10361	0,23860	3,08222	2,15401	-5,50597
3 x 13	3,76e-04	0,15167	-0,11727	0,25675	0,15429	1,47966	0,91896	-1,48099	10,24354	13,54829
3 x 20	-0,00014	0,07685	0,14718	-0,21854	-0,08714	-2,40612	-0,53558	-1,23907	2,88974	-3,89486
3 x 6	0,00026	0,11667	0,18792	0,08859	0,03057	0,69574	0,08360	0,06920	-0,90924	-0,16468
6 x 10	0,00071	0,37074	-0,55801	-0,05356	0,05082	-2,28642	0,22185	4,96772	12,80336	-4,92394
6 x 12	6,06e-05	0,16704	0,07810	-0,02422	-0,04483	-0,04432	-0,13727	-2,74852	0,45956	-3,16337
6 x 13	-3,77e-05	-0,03148	-0,10820	-0,07309	-0,00719	-0,82772	-0,12724	-5,18840	-16,3676	2,39088
6 x 20	-0,00039	-0,23630	-0,09708	0,01140	-0,04133	0,36501	-0,27561	4,18019	6,44530	0,61440
12 x 20	-0,00060	-0,96611	-0,06599	-0,05897	-0,15767	1,33151	-0,12544	0,93265	-1,14399	1,09472

En el Set 1, los mayores valores de ACE para peso y calibre del turión fueron alcanzados en las cruzas 5x11 y 8x11, para calidad (escala negativa) en 8x11, para rendimiento total, rendimiento comercial y tc/pl en las cruzas 8x11 y 4x13, para tt/pl en las cruzas 4x11, 13x20 y 5x7, para altura a la primera ramificación en 8x11, para altura de planta en las cruzas 13x20 y 8x11, y para precocidad (escala negativa) en 11x20.

En el Set 2, los mayores valores de ACE para peso y calibre del turión, calidad (escala negativa), rendimiento comercial, tc/pl y altura a la primera ramificación fueron alcanzados en la crusa 12x13. Para rendimiento total y tt/pl, la mayor ACE se observó en la crusa 10x13, para altura de planta en 13x20, y para precocidad (escala negativa) en la 3x12.

ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Se realizaron análisis de componentes principales (ACP) para cada uno de los set de cruzamientos dialélicos, En el ACP realizado con los materiales pertenecientes al Set 1, las CP1 y CP2 explicaron en un 77% la variabilidad total (58% y 19%, respectivamente). Las componentes CP3, CP4 y CP5 representaron un 12%, 5% y 4% de la variabilidad respectivamente; por lo que debido a sus bajos aportes en la proporción acumulada no fueron consideradas.

El análisis de los autovectores permitió determinar que las variables peso del turión, calibre del turión, rendimiento total, rendimiento comercial, tt/pl, tc/pl, altura a la primera ramificación y altura de planta, se encuentran asociadas de manera positiva a la primera componente (CP1), mientras que las variables calidad de turión y precocidad se asocian de manera negativa a la CP1. La segunda componente (CP2) está asociada de manera positiva a las variables tt/pl, altura a la primera ramificación y altura de planta; mientras que el resto de las variables se encuentran asociadas de manera negativa a la CP2. Las variables peso y calibre de turión, rendimiento total, rendimiento comercial y tc/pl, aportan mayor peso a la CP1; mientras que las variables altura a la primera ramificación, altura de planta y precocidad; ejercen mayor peso sobre la CP2; las variables calidad del turión y tt/pl aportan pesos similares tanto para la CP1 como para la CP2 (Tabla 3.12). En líneas generales, las variables de tipo productivo fueron las que mayor aportaron a la CP1, mientras que las variables vegetativas y la precocidad estuvieron asociadas a la CP2.

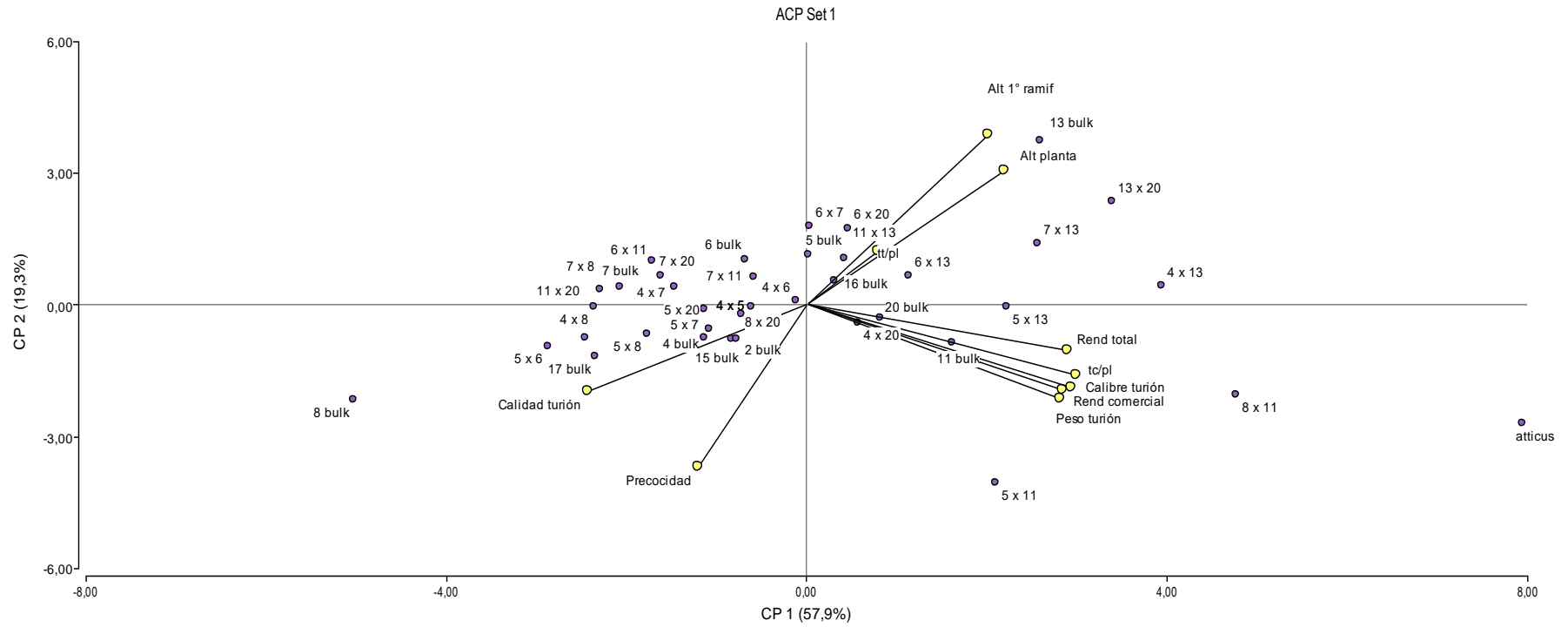
Tabla 3.12 Autovectores para cada componente principal, CP 1 y CP 2, de Set 1.

Variables	e1	e2
------------------	-----------	-----------

Peso del turión	0,37	-0,28
Calibre del turión	0,37	-0,25
Calidad del turión	-0,32	-0,26
Rendimiento total	0,38	-0,13
Rendimiento comercial	0,38	-0,24
Turiones totales/planta	0,10	0,16
Turiones comerciales/planta	0,39	-0,21
Altura 1° ramificación	0,26	0,51
Altura de planta	0,29	0,40
Precocidad	-0,16	-0,48

En la Figura 3.1, se muestra el biplot o gráfico bidimensional de la distribución de todos los materiales del set 1 considerando como ejes x e y, las dos primeras componentes principales. Los materiales que se observan en el cuadrante inferior derecho expresarían los mejores comportamientos, tanto para variables productivas como vegetativas, debido a que sus valores medios para las variables asociadas positivamente a la CP1 fueron mayores, y para las variables Calidad de turión y Precocidad, fueron favorablemente más bajos (variables asociadas negativamente a la CP1).; entre ellos encontramos a los materiales 8x11, 5x11, 5x13, 11 bulk, 4x20, 20 bulk, y al testigo comercial Atticus. Por su ubicación, con respecto a la CP1, se destacan también, para variables de tipo productivo, materiales como 4x13, 13x20, 13 bulk y 7x13. Los materiales que se hallan en los cuadrantes izquierdos tales como 8 bulk, 5x6, 4x8, 11x20, 7x8, 5x20, estarían asociados a una mala calidad del turión y ausencia de precocidad, debido a que valores altos implican menor calidad y mayores días a cosecha. En el gráfico, el testigo comercial Atticus se observa alejado del resto de las cruza y parentales evaluados para el set 1; destacando su comportamiento para todas las variables asociadas a la productividad.

Figura 3.1: Biplot elaborado a partir de ACP de los materiales del Set dialéctico 1 y testigos.



Para el análisis de componentes principales del set 2, las CP1 y CP2 explicaron en un 74% la variabilidad total. La CP1 en una proporción del 53% y la CP2 en un 21%. Las componentes CP3, CP4 y CP5, aportaron un 16%, 5% y 3% respectivamente; y, tal como en el set 1, no fueron consideradas, debido a sus bajos aportes en la proporción de variabilidad acumulada.

El análisis de los autovectores permitió determinar que las variables peso y calibre del turión, rendimiento total, rendimiento comercial, tt/pl, tc/pl, altura a la primera ramificación y altura de planta, se encuentran asociadas de manera positiva a la primera componente, mientras que las variables calidad de turión y precocidad se asocian de manera negativa a la CP1. La segunda componente está asociada de manera positiva a las variables rendimiento total, tt/pl, altura a la primera ramificación, altura de planta y precocidad; mientras que el resto de las variables se encuentran asociadas de manera negativa a la CP2 (Tabla 3.13).

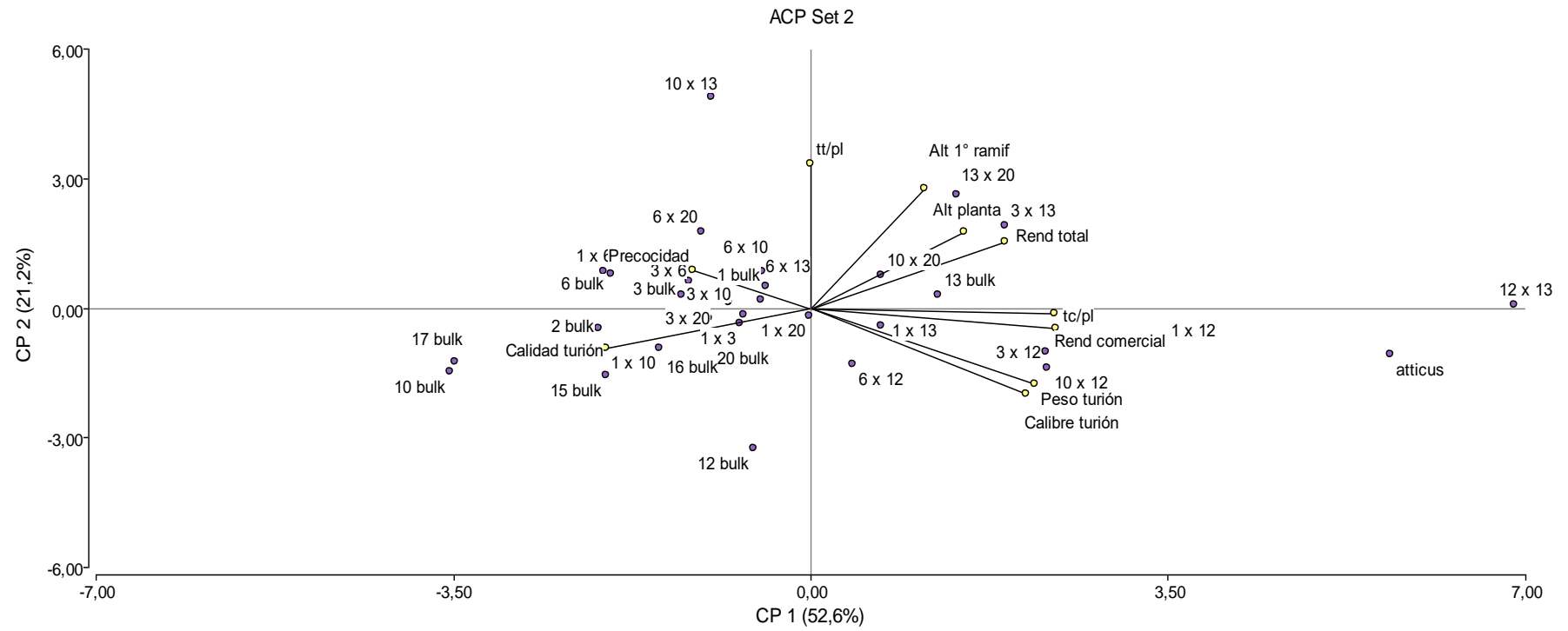
Tabla 3.13 Autovectores para cada componente principal, CP 1 y CP 2, de Set 2.

Variables	e1	e2
Peso del turión	0,38	-0,31
Calibre del turión	0,37	-0,35
Calidad del turión	-0,35	-0,16
Rendimiento total	0,33	0,27
Rendimiento comercial	0,42	-0,08
Turiones totales/planta	9,4E-04	0,58
Turiones comerciales/planta	0,42	-0,02
Altura 1° ramificación	0,19	0,48
Altura de planta	0,26	0,30
Precocidad	-0,20	0,15

La Figura 3.2, se presenta el gráfico bidimensional para las dos primeras componentes (CP1 y CP2). En la Figura 3.2, los materiales que encontramos en el cuadrante inferior derecho expresarían los mejores comportamientos, tanto para las variables productivas como vegetativas; entre ellos el 12x13, 1x12, 10x12, 3x12, 13 bulk, 13x20, 3x13 y el testigo comercial Atticus. Los materiales que se hallan en los cuadrantes izquierdos, tales como 3x20, 12 bulk, 6x13, 6x20, 10x13, estarían asociados a una baja calidad del turión, debido a que valores altos implicarían valores medios altos en la escala de calidad (menor calidad) y ausencia o baja precocidad (tardíos) por sus mayores valores medios en días a cosecha; y a bajos valores de los caracteres asociados positivamente con la primera componente que aportarían a un buen comportamiento. En el gráfico, puede observarse que el cruzamiento 12x13 supera ampliamente al testigo comercial Atticus, y a

los demás materiales evaluados en el set 2, para todas las variables asociadas a la productividad.

Figura 3.2 Biplot elaborado a partir de ACP de los materiales del Set dialéctico 2 y testigos.



Posteriormente se realizó un análisis de componentes principales de todos los materiales en forma conjunta, las CP1 y CP2 explicaron en un 74% la variabilidad total. La CP1 en una proporción del 56% y la CP2 un 17%.

La influencia de cada una de las variables en la composición de las dos primeras componentes principales puede observarse en la Tabla 3.14.

Tabla 3.14 Autovectores para cada componente principal, CP 1 y CP 2, de todos los materiales del ensayo.

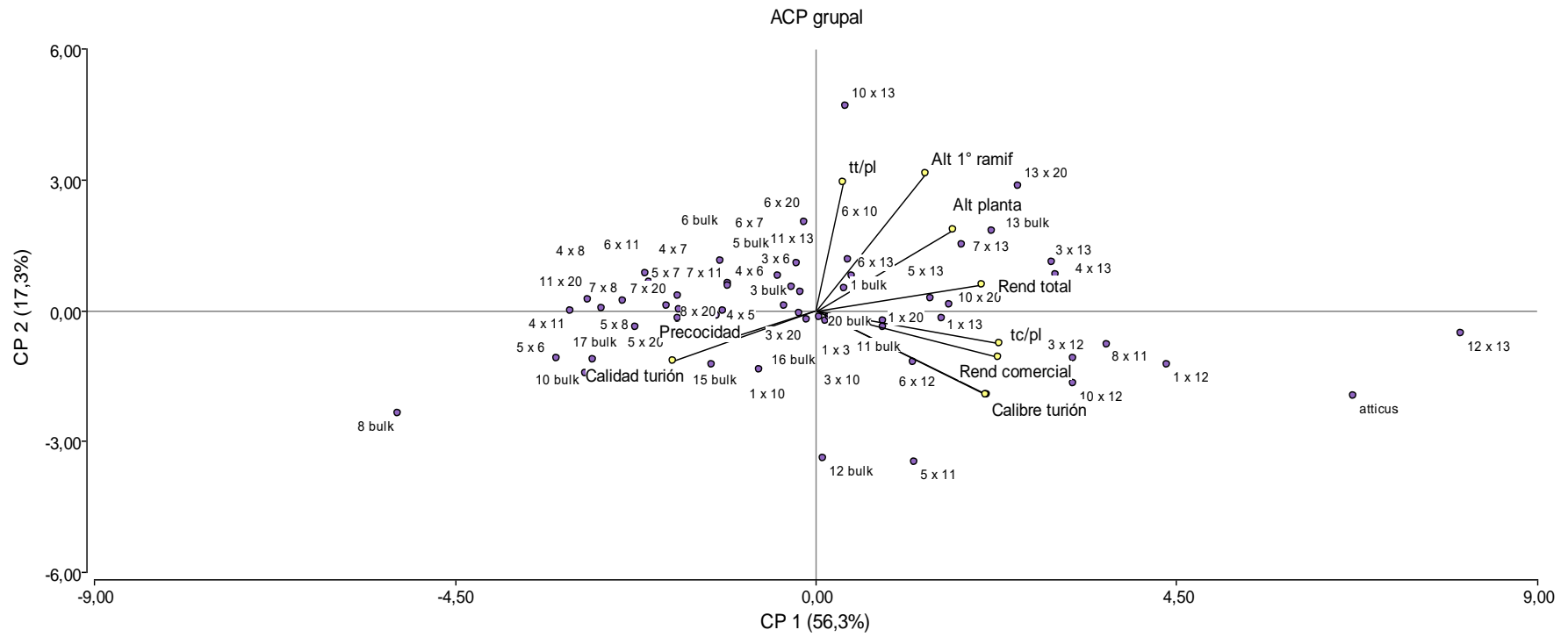
Variables	e1	e2
Peso del turión	0,37	-0,33
Calibre del turión	0,37	-0,34
Calidad del turión	-0,31	-0,20
Rendimiento total	0,36	0,10
Rendimiento comercial	0,40	-0,18
Turiones totales/planta	0,06	0,51
Turiones comerciales/planta	0,40	-0,13
Altura 1° ramificación	0,24	0,55
Altura de planta	0,30	0,32
Precocidad	-0,19	-0,11

Las asociaciones de cada variable a las CP1 y CP2, fueron similares a las observadas para el set 2. Es decir, que aquellos materiales que presentaron mayores valores para la primera componente, se corresponden con buenos y deseables comportamientos, asociándose con valores positivos de peso de turión, rendimiento total, rendimiento comercial, tt/pl, tc/pl, altura de planta, y deseable calidad de turión. Las variables peso y calibre de turión, y altura de planta aportan pesos similares en ambas componentes principales; mientras que los aportes de las variables calidad de turión, rendimiento total, rendimiento comercial, tc/pl y precocidad, son mayores en la CP1; y los aportes de las variables tt/pl y altura a la primera ramificación, son mayores en la CP2 (Tabla 3.14).

En la Figura 3.3 se muestra el biplot o gráfico bidimensional con la distribución de los materiales en función de las dos primeras componentes principales. Los materiales ubicados en el cuadrante inferior derecho expresarían los mejores comportamientos, para las variables productivas y vegetativas. Entre ellos, se destacan por sus posiciones los materiales 12x13 y Atticus, quienes presentaron los mayores valores medios para la mayoría de las variables estudiadas; expresando los mejores comportamientos agronómicos en comparación con el resto de los materiales. Otros materiales que alcanzaron performances destacables se ubicaron también en los cuadrantes derechos; entre ellos

1x12, 8x11, 3x12, 3x13, 4x13, 13x20. Los materiales que se hallan en los cuadrantes izquierdos, estarían asociados a una menor calidad del turión y a una menor precocidad; así como también a bajos valores medios de los caracteres asociados positivamente con la primera componente que aportarían a un buen comportamiento (peso y calibre de turión, rendimiento total y comercial, tt/pl, tc/pl, altura a la primera ramificación y altura de planta). El material 8 bulk, presentó un indeseable comportamiento agronómico para la mayoría de las variables en estudio, con los menores valores medios alcanzados, y se posicionó correspondiendo a estos resultados en el extremo de los cuadrantes izquierdos; acompañado por otros materiales como 10 bulk, 17 bulk, 5x6, 5x8, 11x20.

Figura 3.3 Biplot elaborado a partir de ACP de todos los materiales involucrados en el ensayo.



ANÁLISIS MODELO SREG

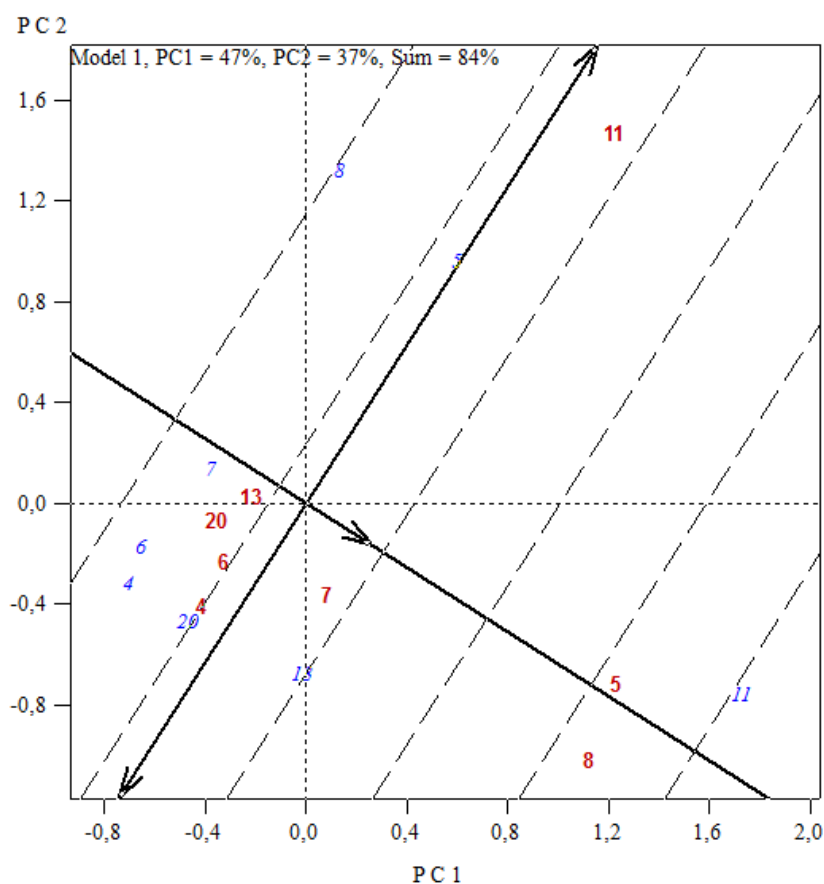
El análisis multivariado SREG (modelo de regresión por sitios) para cada set de cruzamientos, en cada una de las variables fue aplicado de acuerdo a lo propuesto por Yan y Hunt (2002) para el análisis de datos dialélicos. Dado que la variable peso de turión en este trabajo de tesis, se encuentra estadísticamente correlacionada con calibre del turión ($r = 0,99$; $p < 0,001$); se realizó el análisis SREG sólo para la segunda variable.

En el gráfico biplot obtenido, cada material se posiciona como entrada (accesión parental) y como probador (ambientes en el SREG tradicional). Esta adaptación del modelo SREG para datos dialélicos propone que la proyección de las accesiones parentales en el eje de la coordenada (eje x) se relaciona con su ACG, por lo que cuanto más extrema esté la accesión en dicha proyección de la componente, mayor será su ACG para esa variable. La ACE se evalúa en función de la ubicación relativa (distancia entre sí) de las accesiones parentales en el gráfico; en aquellas combinaciones donde se presentan elevadas ACE, las accesiones parentales, actuando como entrada y como probador (o viceversa) estarán ubicadas más cerca unas de otras.

Los GGE biplots construidos representan mediante gráficos biplot a los genotipos (accesiones parentales) a través de la proyección de la primera y segunda componentes, identificando en color azul a las accesiones en sí misma y en color rojo a los materiales funcionando como probadores. El probador, expresará alta aptitud combinatoria específica con las accesiones de mayor cercanía.

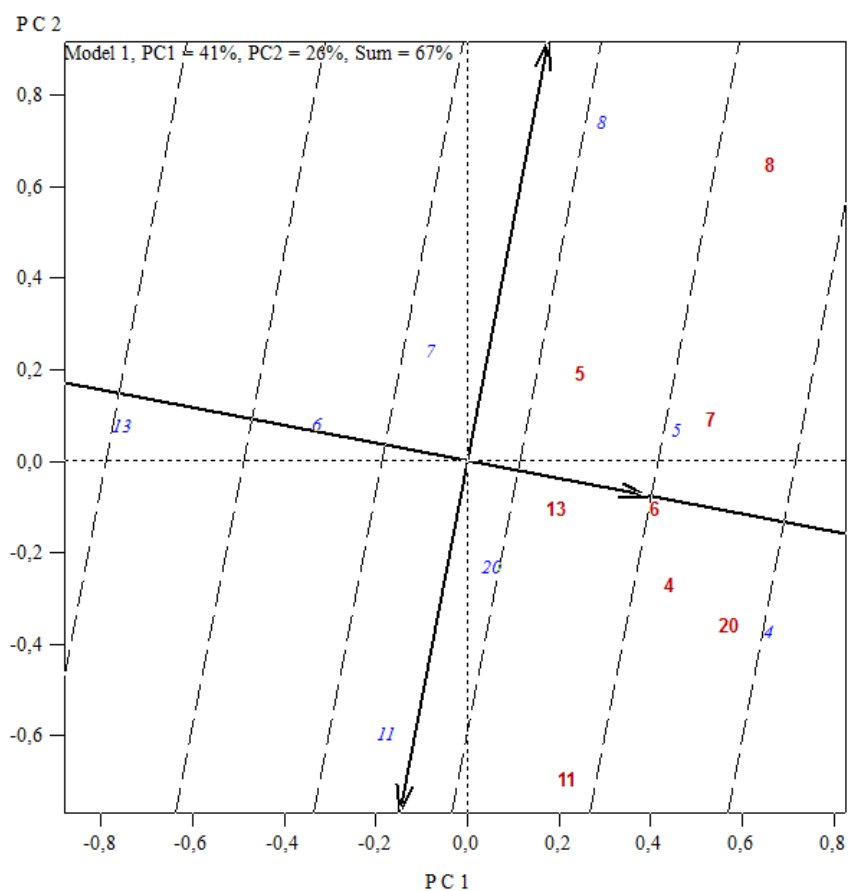
En el análisis del gráfico GGE biplot para la variable calibre del turión para el set 1 (Figura 3.4), se observó que la variabilidad fue explicada en un 84% (CP1: 47% y CP2: 37%). Se observa que el material 11, demostró una alta ACE con los materiales 5 y 8. Lo anterior, también ocurre cuando a los materiales 5 y 8, se los observa como accesiones y debido a su cercanía con el probador 11, se interpretan altas ACE entre ellos. El biplot también permite interpretar que las mayores ACG, fueron para 11 y 13, a partir de sus posiciones extremas y positivas en la proyección de la primera componente.

Figura 3.4 Biplot GGE para calibre del turión set 1. Números azules representan a las accesiones en sí misma y números rojos a los materiales funcionando como probadores.



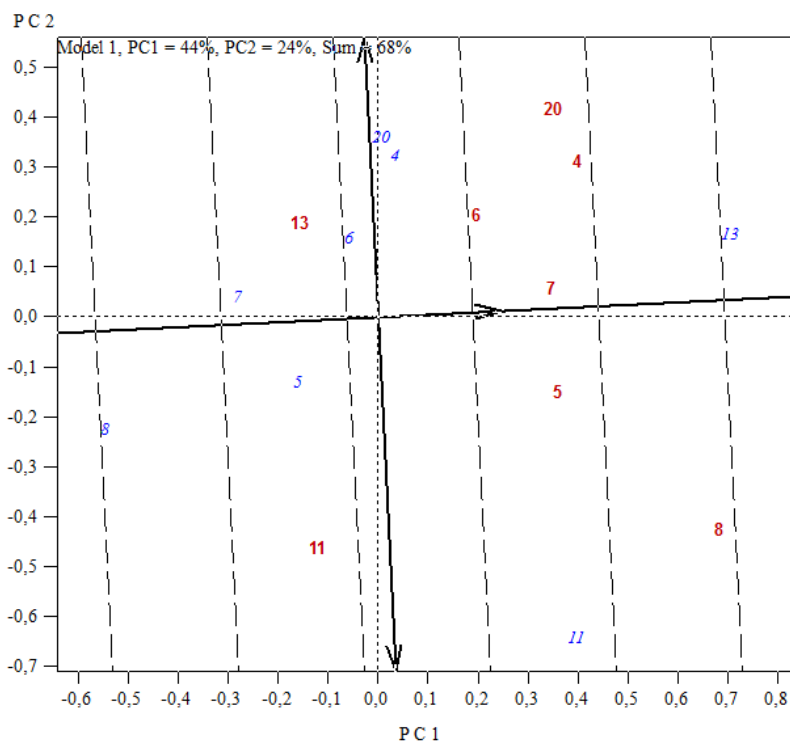
En la Figura 3.5, se presenta el GGE biplot para la variable calidad de turión, en el set 1. Aquí la variabilidad explicada fue del 67% (CP1: 41% y CP2: 26%). Al interpretar el GGE biplot se observa que la accesión 4 tiene una alta ACE con el probador 20; lo mismo sucedería con otras interpretaciones a partir de cercanías entre las posiciones de los probadores 6 y 7 con la accesión 5. Pero debido a que, al igual que el carácter precocidad; menores valores medios en sus escalas, demuestran mejores comportamientos agronómicos, para estos casos, las más altas ACE no permiten ser interpretadas siguiendo un criterio común en el biplot, entre accesión y probador; y los mayores valores de ACE no se asocian a mejores comportamientos. El material 13, como accesión, se encuentra ubicado en el extremo negativo de la coordenada; demostrando deseable ACG (menor valor) para calidad que el resto de los materiales; seguido por los materiales 6 y 7.

Figura 3.5 Biplot GGE para calidad del turión set 1. Números azules representan a las accesiones en sí misma y números rojos a los materiales funcionando como probadores.



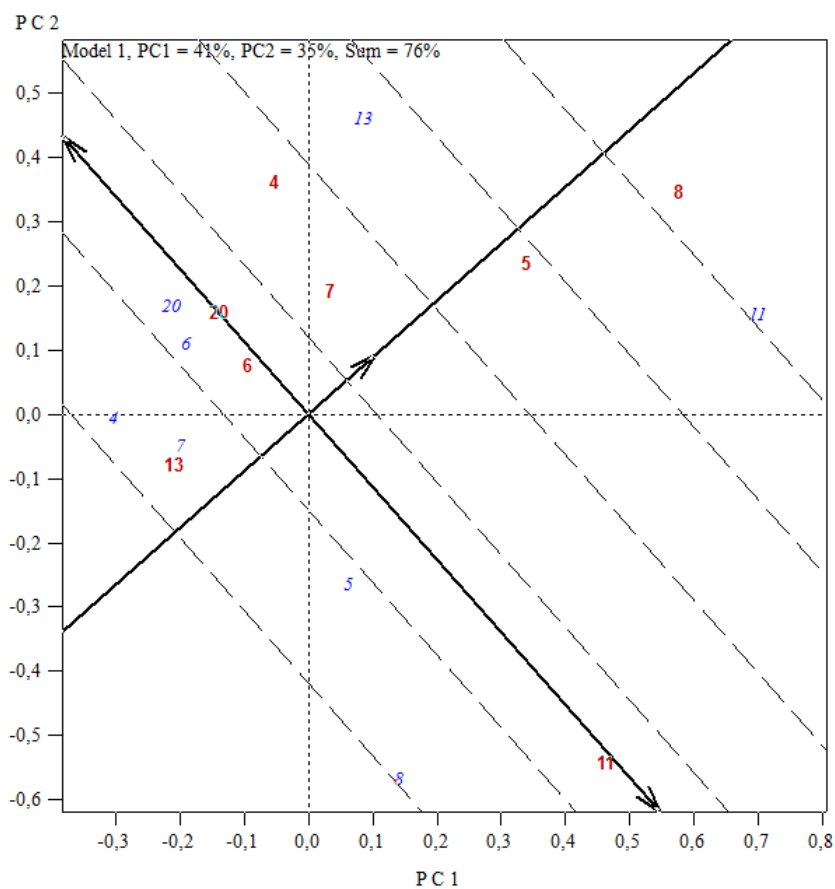
En la Figura 3.6, se presenta el GGE biplot para la variable rendimiento total, del set 1. Aquí la variabilidad fue explicada en un 68% (CP1: 44% y CP2: 24%). El material 13 como accesión, permite interpretar por su cercanía, altas ACE cuando es cruzado con los materiales 20, 4 y 7. Así también puede interpretarse que el material 11, como accesión, demuestra mayor ACE con los materiales 8 y 5, como probadores. Mientras que el material 13, como accesión, en el extremo de la coordenada demuestra su mayor ACG; le sigue en menor medida el material 11, que también muestra una mayor ACG que el resto.

Figura 3.6 Biplot GGE para rendimiento total set 1. Números azules representan a las accesiones en sí misma y números rojos a los materiales funcionando como probadores.



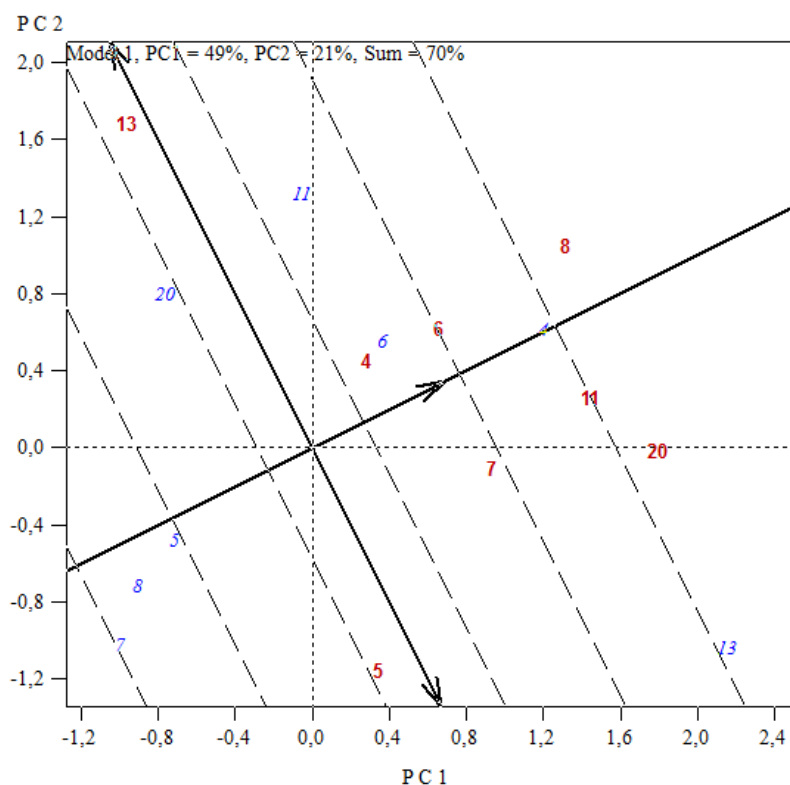
En la Figura 3.7, se presenta el GGE biplot para la variable rendimiento comercial, del set 1. Se observa que la variabilidad explicada fue del 76% (CP1: 41% y CP2: 35%). El material 11 como accesión, se encuentra cercano a los materiales probadores 5 y 8, visualizando altas ACE entre ellos. El material 13, cercano a los materiales 4 y 7 como probadores y viceversa; también permite identificar una alta ACE entre estos materiales. De igual modo, los materiales 20 y 6 en sus roles de accesión y probador, se encuentran cercanos entre sí demostrando alta ACE entre ellos. Las ubicaciones de los materiales 13 y 11, como accesiones, permiten demostrar sus mayores ACG.

Figura 3.7 Biplot GGE para rendimiento comercial set 1. Números azules representan a las accesiones en sí misma y números rojos a los materiales funcionando como probadores.



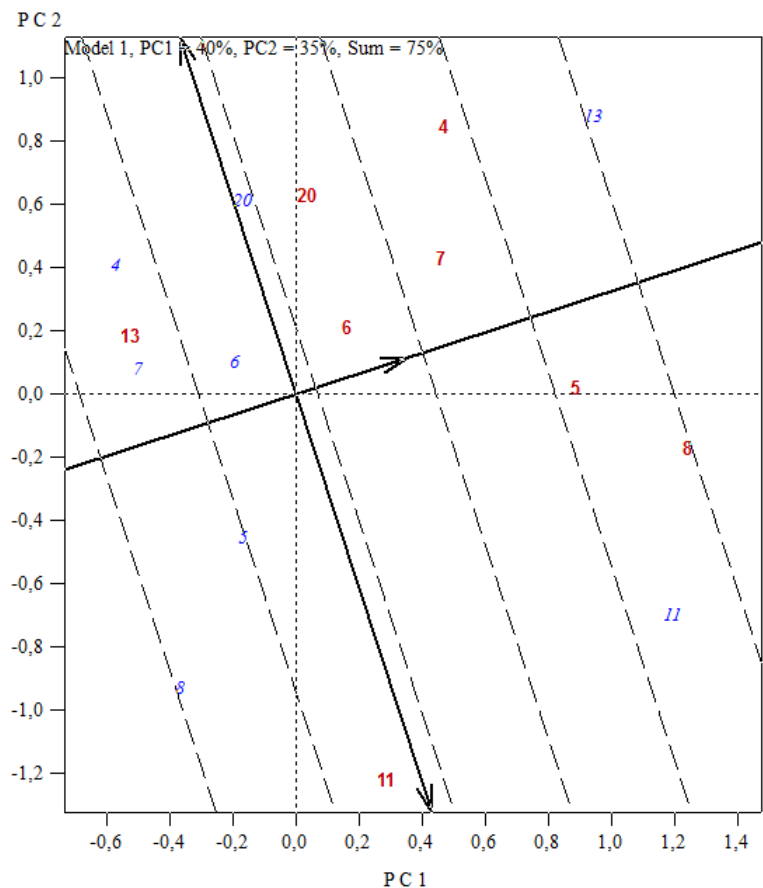
En la Figura 3.8, se presenta el GGE biplot para la variable turiones totales por planta, del set 1. La variabilidad explicada fue del 70% (CP1: 49% y CP2: 21%). Se destaca la ACE del material 13 como accesión, frente a los materiales 7, 20 y 11 como probadores. Los materiales 13 y 4, como accesiones, fueron quienes demostraron mayores ACG.

Figura 3.8 Biplot GGE para turiones totales por planta set 1. Números azules representan a las accesiones en sí misma y números rojos a los materiales funcionando como probadores.



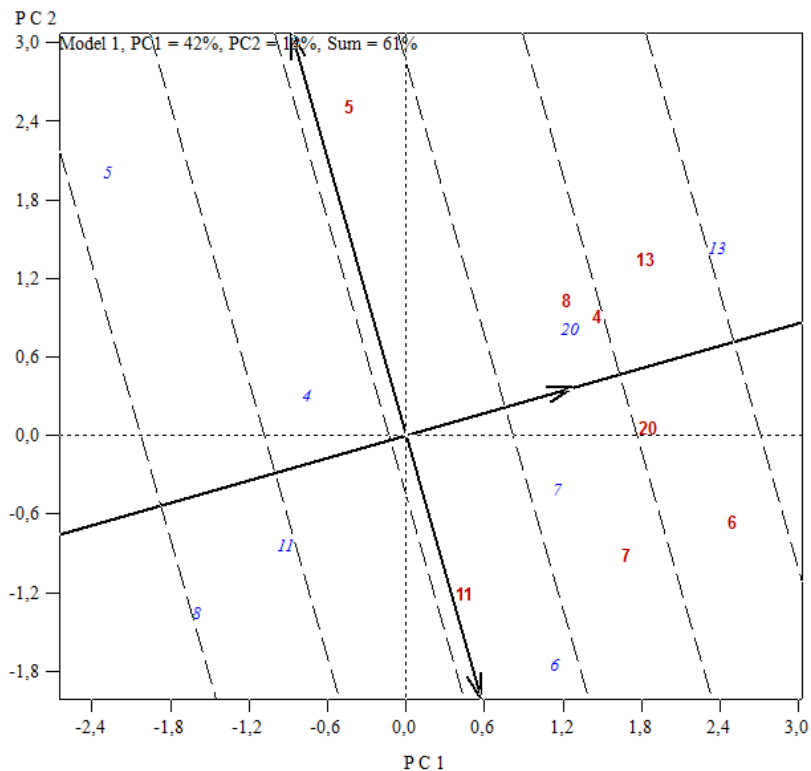
En la Figura 3.9, se presenta el GGE biplot para la variable turiones comerciales por planta. Aquí se explicó un 75% de la variabilidad (CP1: 40% y CP2: 35%). El material 13 presenta una alta ACE con los materiales 4 o 7. También puede observarse que el material 11 se encuentra cerca de los materiales 8 y 5 como probadores, permitiendo interpretar altas ACE entre ellos. Los materiales 13 y 11, como accesiones, fueron los que demostraron mayores ACG.

Figura 3.9 Biplot GGE para turiones comerciales por planta set 1. Números azules representan a las accesiones en sí misma y números rojos a los materiales funcionando como probadores.



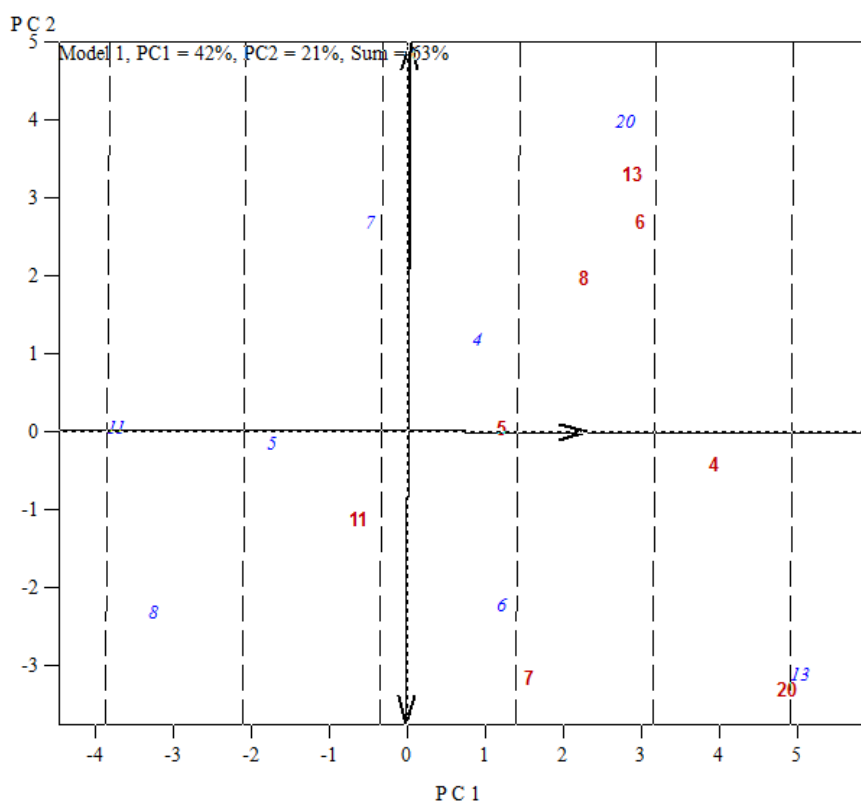
En la Figura 3.10, se presenta el GGE biplot para la variable altura a la primera ramificación, del set 1. Aquí se explicó un 61% de la variabilidad (CP1: 42% y CP2: 19%). El material 13, como accesión presenta mayor cercanía con el material 4, demostrando alta ACE. También podrían interpretarse altas ACE entre la accesión 13 y con el probador 8; o entre la accesión 20 con los probadores 4 y 8. Mientras que según sus ubicaciones en la coordenada 1, se logra interpretar que los materiales 13, 20 y 7, como accesiones, presentan altas ACG.

Figura 3.10 Biplot GGE para altura a la primera ramificación set 1. Números azules representan a las accesiones en sí misma y números rojos a los materiales funcionando como probadores.



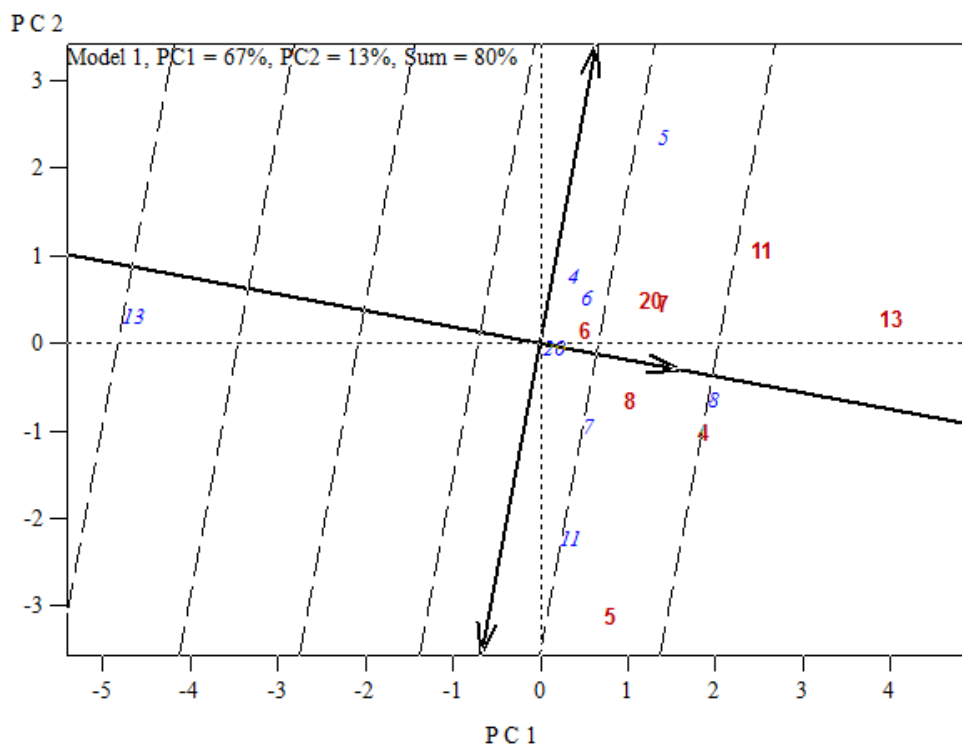
En la Figura 3.11, se presenta el GGE biplot para la variable altura de planta, del set 1. Aquí se explicó un 63% de la variabilidad (CP1: 42% y CP2: 21%). Se observa que el material 20 se relaciona cercanamente a los materiales 13 y 6, pudiendo interpretar alta ACE alcanzadas entre ellos. Reafirmando la alta ACE entre 13 y 20, se observa el comportamiento del material 13 como accesión con el material 20 como probador. Así como también a las accesiones 5 y 8 con el probador 11. Mientras que los materiales 13 y 20, como accesiones, demuestran las mayores ACG.

Figura 3.11 Biplot GGE para altura de planta set 1. Números azules representan a las accesiones en sí misma y números rojos a los materiales funcionando como probadores.



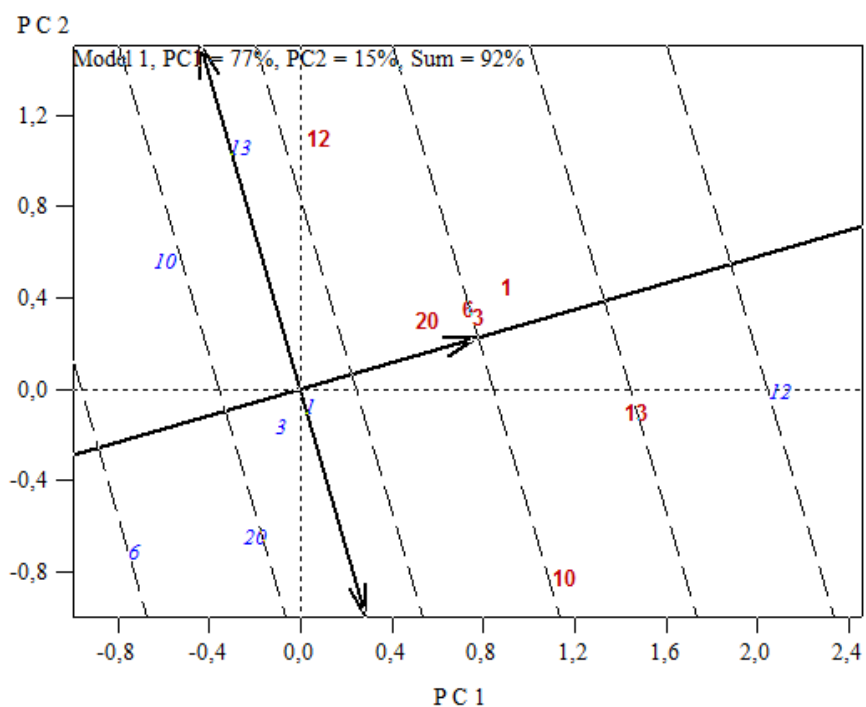
En la Figura 3.12, se presenta el GGE biplot para la variable precocidad, del set 1. Aquí la variabilidad explicada fue del 80%, (CP1: 67% y CP2: 13%). Se observa que el material 13, como accesión, se encuentra posicionado en el extremo negativo de la proyección de la componente; se interpreta entonces que su ACG se ajusta mejor para precocidad, respecto al resto de los materiales del set 1. Pero así como calidad de turión, menores valores medios, demuestran mejores comportamientos agronómicos; y para estos casos, las más altas ACE no permitieron ser interpretadas siguiendo un criterio común en el biplot, entre accesión y probador.

Figura 3.12 Biplot GGE para precocidad set 1. Números azules representan a las accesiones en sí misma y números rojos a los materiales funcionando como probadores.



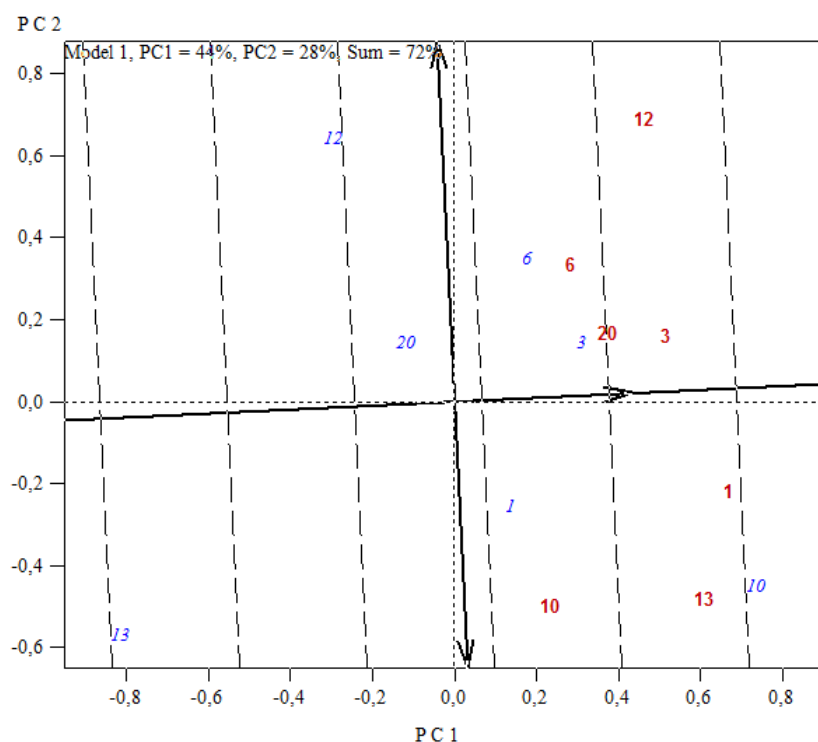
En la Figura 3.13, se presenta el GGE biplot para la variable calibre de turión del set 2. Aquí la variabilidad explicada fue del 92% (CP1: 77% y CP2: 15%). Se observa una alta ACE entre los materiales 12 y 13, también puede verse entre los materiales 12 y 10; o entre la accesión 12, con los probadores 1, 3 y 6. El material 12, está posicionado sobre la proyección de las componentes en el extremo que más significa a la ACG para el carácter calibre de turión. Según la ubicación de los materiales como accesiones, respecto a la coordenada, el material 12 demostró la mayor ACG.

Figura 3.13 Biplot GGE para calibre del turión set 2. Números azules representan a las accesiones en sí misma y números rojos a los materiales funcionando como probadores.



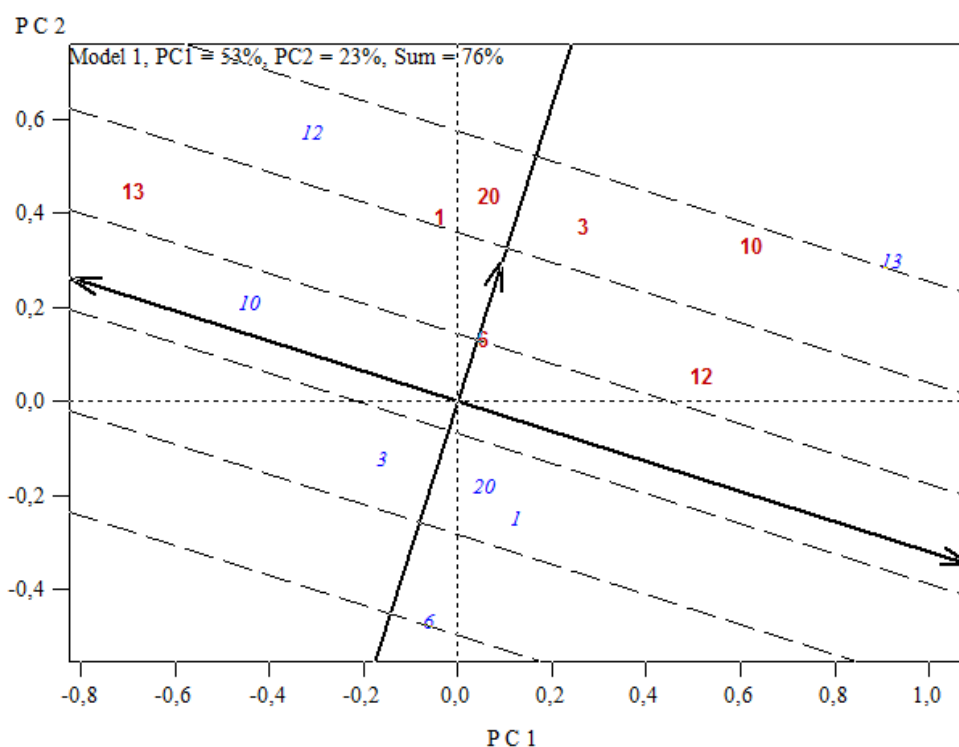
En la Figura 3.14, se presenta el GGE biplot para la variable calidad del turión del set 2. Aquí la variabilidad explicada es del 72% (CP1: 44% y CP2: 28%). En esta variable, menores valores medios en la escala, demuestran mejores comportamientos agronómicos. Para estos casos, las más altas ACE no permitieron ser interpretadas siguiendo un criterio común en el biplot, entre accesión y probador. Mientras que para interpretar ACG, al observar al material 13 como accesión, y visualizar su posición en el extremo negativo de la coordenada; sí es posible destacarlo por su ACG para este carácter.

Figura 3.14 Biplot GGE para calidad del turión set 2. Números azules representan a las accesiones en sí misma y números rojos a los materiales funcionando como probadores.



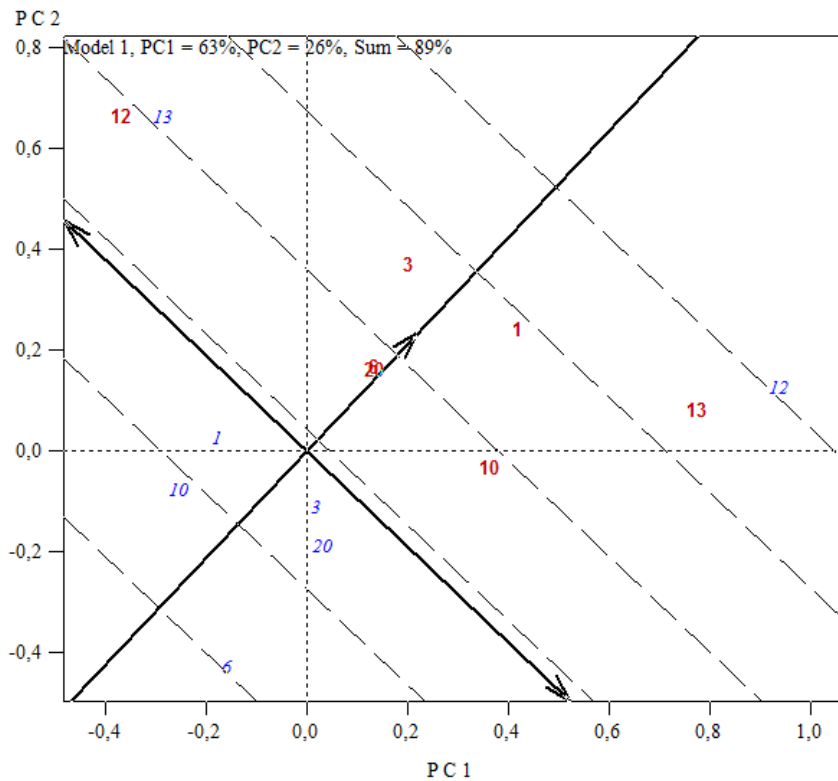
En la Figura 3.15, se presenta el GGE biplot para la variable rendimiento total, del set 2. Aquí se explicó una variabilidad del 76%, (CP1: 53% y CP2: 23%). Se observa una alta ACE entre el material 12 como accesión, con los materiales 13 y 1, como probadores. También el material 13 como accesión con los materiales 10 y 3, como probadores tienen alta ACE debido a su cercanía. Mientras que el material 13, pero como accesión, demostró mayor ACG.

Figura 3.15 Biplot GGE para rendimiento total set 2. Números azules representan a las accesiones en sí misma y números rojos a los materiales funcionando como probadores.



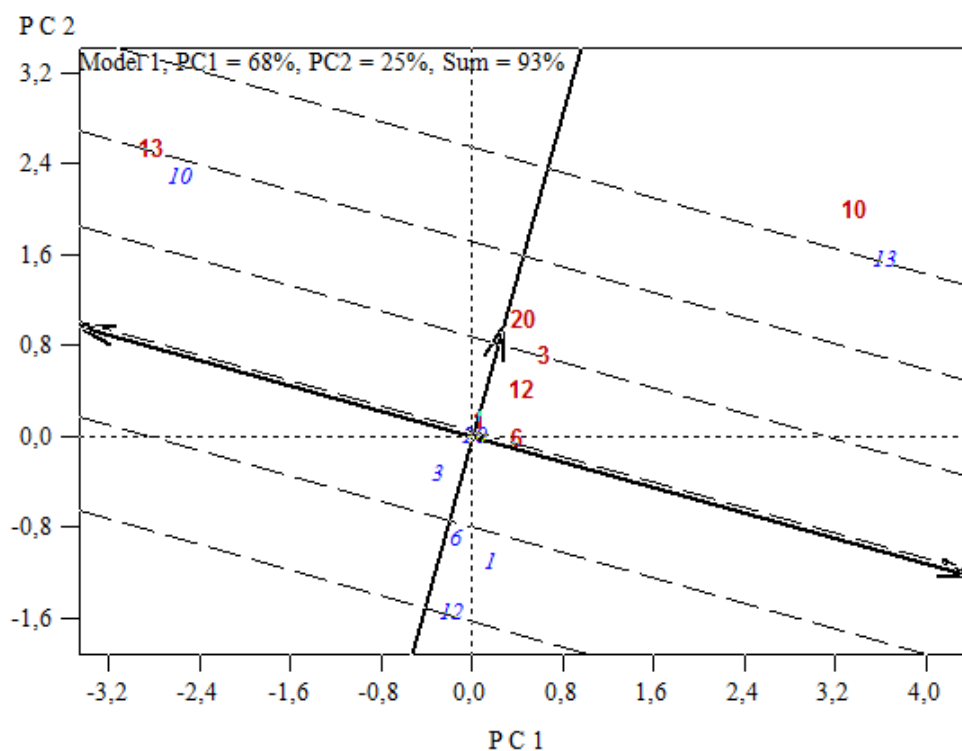
En la Figura 3.16, se presenta el GGE biplot para la variable rendimiento comercial, del set 2. Aquí la variabilidad explicada fue del 89% (CP1: 63% y CP2: 26%). Puede interpretarse una alta ACE entre los materiales 12 y 13, visualizados próximos y alejados del resto. También el material 12, como accesión demuestra alta ACE con los materiales 1 y 10; además de altas ACE visualizadas entre el material 10 con el 20; y entre el 13 con el 3, ubicados próximos en el biplot. Mientras que el material 12, como accesión permite demostrar altas ACG, respecto al resto de los materiales.

Figura 3.16 Biplot GGE para rendimiento comercial set 2. Números azules representan a las accesiones en sí misma y números rojos a los materiales funcionando como probadores.



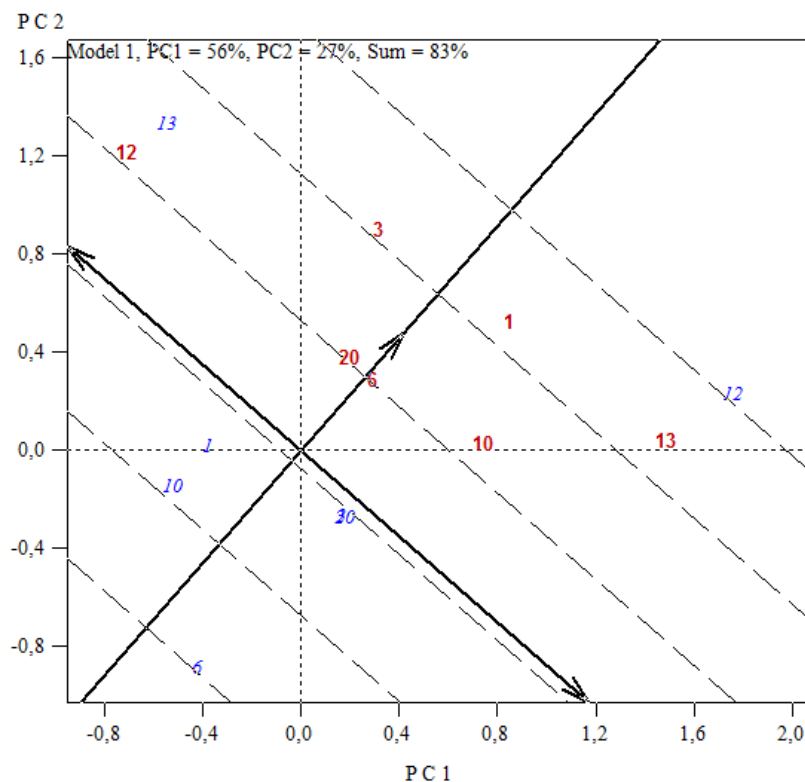
En la Figura 3.17, se presenta el GGE biplot para la variable turiones totales por planta, del set 2. Aquí la variabilidad explicada fue del 93% (CP1: 68% y CP2: 25%). Se observan posiciones cercanas entre el material 13 y el 10, demostrando una alta ACE entre ellos. Para el material 13, como accesión, se logra interpretar que su posición lo destaca del resto, por mayor ACG.

Figura 3.17 Biplot GGE para turiones totales por planta set 2. Números azules representan a las accesiones en sí misma y números rojos a los materiales funcionando como probadores.



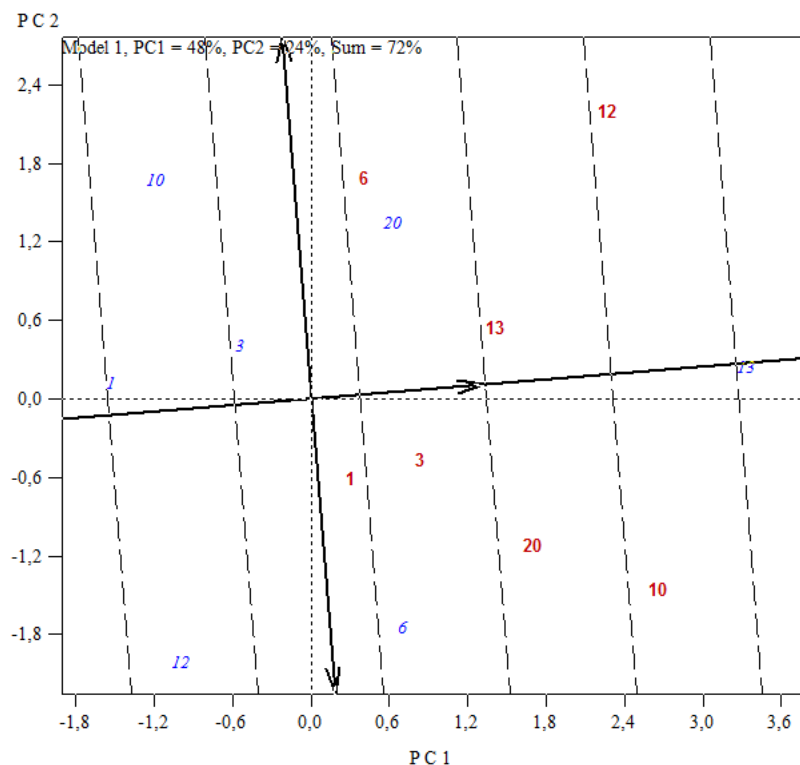
En la Figura 3.18, se presenta el GGE biplot para la variable turiones comerciales por planta, del set 2. Aquí la variabilidad explicada fue del 83% (CP1: 56% y CP2: 27%). Se observa una alta ACE entre los materiales 12 y 13, que se encuentran posicionados cercanos. El material 13, presenta alta ACE con los materiales 3 y 20. Y el material 12, también por su posición, expresa alta ACE con los materiales 1 y 10 como probadores. Al interpretar el biplot para ACG, los materiales que se destaca el 12.

Figura 3.18 Biplot GGE para turiones comerciales por planta set 2. Números azules representan a las accesiones en sí misma y números rojos a los materiales funcionando como probadores.



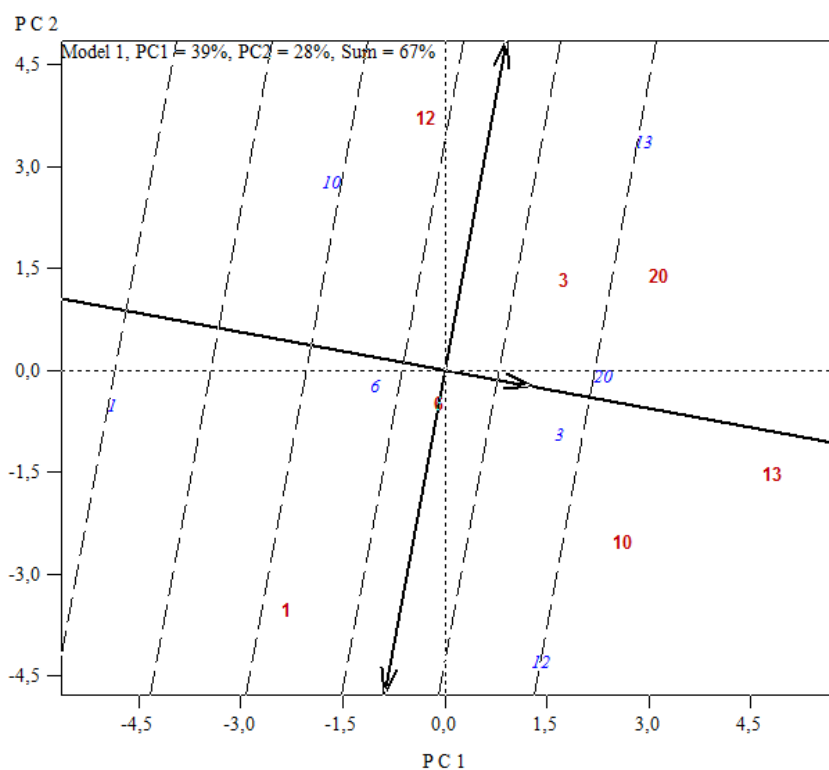
En la Figura 3.19, se presenta el GGE biplot para la variable altura a la primera ramificación, del set 2. Aquí se explicó un 72% de la variabilidad (CP1: 48% y CP2: 24%). Se observa mayor cercanía entre la accesión 20, con los materiales 6 y 13 como probadores; además de altas ACE entre la accesión 13 con los probadores 10 y 12. El material 13, como accesión, demuestra la mayor ACG para altura a la primera ramificación entre los materiales evaluados en este set.

Figura 3.19 Biplot GGE para altura a la primera ramificación set 2. Números azules representan a las accesiones en sí misma y números rojos a los materiales funcionando como probadores.



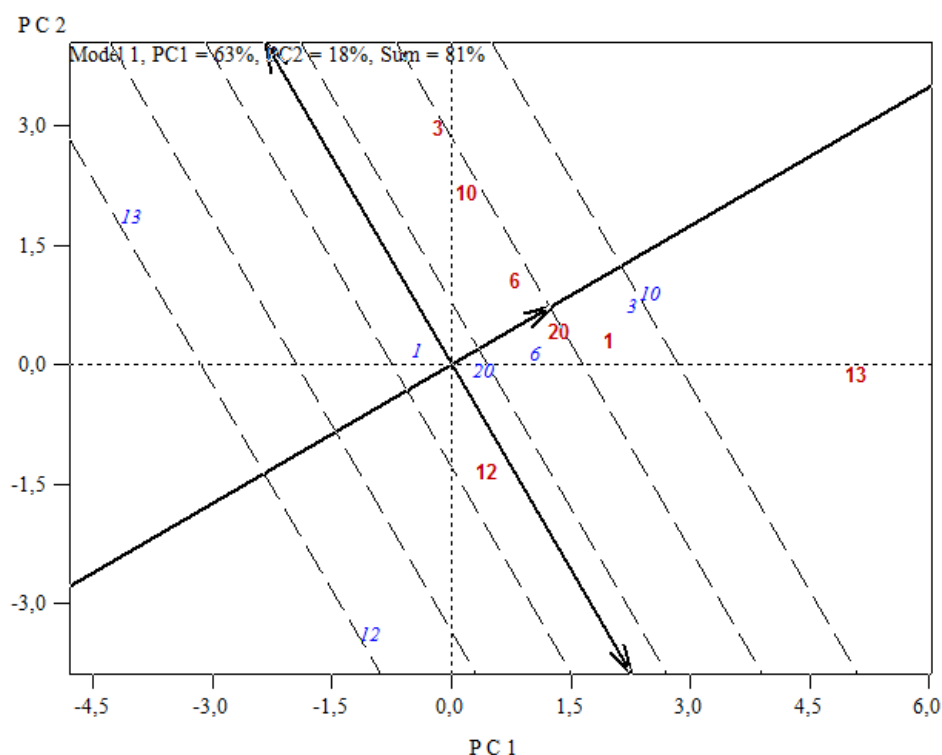
En la Figura 3.20, se presenta el GGE biplot para la variable altura de planta, del set 2. Aquí la variabilidad explicada es del 67% (CP1: 39% y CP2: 28%). Se observa una ACE alta para la accesión 13, con los materiales 12, 3 y 20, además de la cercanía observada entre los materiales 12 y 10, lo que también indica una alta ACE entre ellos para el carácter altura de planta. Al analizar los materiales que demostraron mayores ACG, se destacan el 13, 20 y 3.

Figura 3.20 Biplot GGE para altura de planta set 2. Números azules representan a las accesiones en sí misma y números rojos a los materiales funcionando como probadores.



En la Figura 3.21, se presenta el GGE biplot para la variable precocidad, del set 2. Aquí la variabilidad explicada fue del 81% (CP1: 63% y CP2: 18%). Se observa que el material 13 se posiciona en el extremo negativo de la proyección de la coordenada, permitiendo interpretar su ACG (deseable para menores valores); le sigue el material 12, como accesión. Pero así como calidad de turión, menores valores medios, demuestran mejores comportamientos agronómicos; y para estos casos, las más altas ACE no permitieron ser interpretadas siguiendo un criterio común en el biplot, entre accesión y probador.

Figura 3.21 Biplot GGE para precocidad set 2. Números azules representan a las accesiones en sí misma y números rojos a los materiales funcionando como probadores.



EVALUACIÓN GENOTÍPICA

A partir de 51 combinaciones SRAP, las cuales fueron probadas en un set inicial de 5 accesiones, se seleccionaron 16 combinaciones ya que generon mayor cantidad de bandas totales, las cuales se especifican la Tabla 3.15.

Tabla 3.15 Combinaciones de cebadores SRAP seleccionadas

Combinación		Combinación	
1	Me1 / Em6	9	Me9 / Em3
2	Me2 / Em10	10	Me9 / Em4
3	Me6 / Em4	11	Me9 / Em9
4	Me6 / Em5	12	Me10 / Em3
5	Me6 / Em6	13	Me10 / Em4
6	Me6 / Em7	14	Me10 / Em6
7	Me6 / Em8	15	Me10 / Em7
8	Me6 / Em9	16	Me10 / Em8

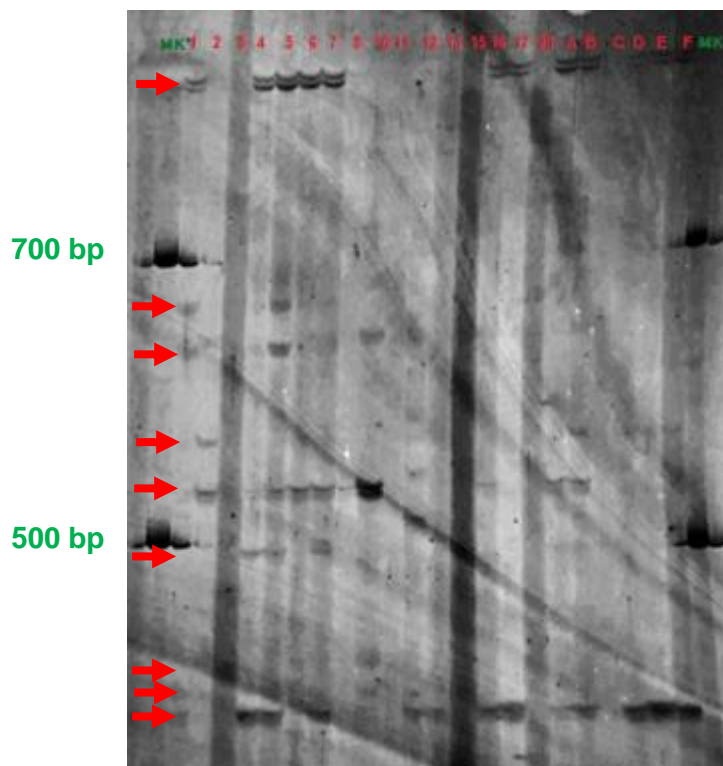
Posteriormente, se evaluaron las 25 accesiones (Tabla 2.3) con las 16 combinaciones de cebadores SRAP seleccionadas. Se obtuvieron un total de 329 bandas, de las cuales 324 resultaron polimórficas (98,48%), con un promedio de 21 bandas por combinación y un tamaño de amplicón de 200 a 2000 pb. El número de bandas polimórficas por combinación varió de 4 (Me9 / Em3) a 45 (Me10 / Em6), con un contenido de información polimórfica (PIC) promedio de 0,20. Información detallada en cuento al número de bandas polimórficas, monomórficas, totales y PIC, por combinación de cebadores, se presenta en la Tabla 3.16.

Tabla 3.16 Información molecular por combinación de cebadores

Combinación de cebadores	Bandas Polimórficas	Bandas Monomórficas	Bandas Totales	Contenido de información polimórfica (PIC)
Me 6 / Em 6	22	0	22	0.26
Me 6 / Em 7	35	2	37	0.28
Me 6 / Em 8	14	3	17	0.19
Me 6 / Em 9	33	0	33	0.23
Me 10 / Em 6	45	0	45	0.22
Me 6 / Em 4	18	0	18	0.16
Me 10 / Em 3	27	0	27	0.15
Me 9 / Em 9	27	0	27	0.20
Me 10 / Em 7	13	0	13	0.16
Me 9 / Em 4	5	0	5	0.34
Me 1 / Em 6	13	0	13	0.16
Me 10 / Em 8	10	0	10	0.15
Me 6 / Em 5	28	0	28	0.15
Me 2 / Em 10	19	0	19	0.16
Me 10 / Em 4	11	0	11	0.18
Me 9 / Em 3	4	0	4	0.14
Total	324	5	329	

Los productos de amplificación generados con los marcadores SRAP, separados mediante electroforesis en geles desnaturizantes de poliacrilamida al 6% pueden observarse a modo de ejemplo en la Figura 3.22, donde se indican con flechas las bandas polimórficas. En Anexo 5 se presenta la tabla 1.A5, con los datos de scoring de cada una de las combinaciones SRAP analizadas en las 25 accesiones.

Figura 3.22 Productos de la amplificación, con la combinación SRAP (Me10 / Em7), en gel de poliacrilamida. MK: marcador de peso molecular (AmpliSize Molecular Ruler BioRad). Las flechas indican bandas polimórficas.



ANÁLISIS DE DISTANCIAS GENÉTICAS, COORDENADAS PRINCIPALES Y CONGLOMERADOS

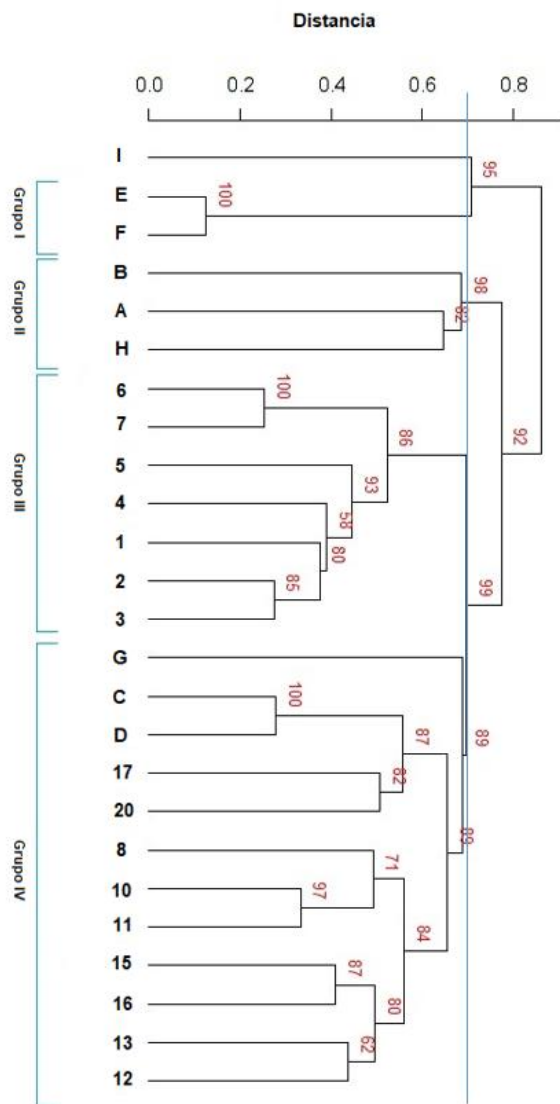
La distancia genética de Dice entre las accesiones osciló entre 0,26 y 0,92 (Tabla 3.17). La menor distancia se presentó entre las accesiones E (Purple Passion y F (Violetto d' Albenga); mientras que los más distantes fueron las accesiones I (*A. pseudoscaber*) y 7 (Spaganiva). Se realizó un análisis de conglomerados con método de vinculación promedio y distancia para datos binarios, logrando un dendrograma con valores de bootstrap para las diferentes ramas. Considerando como línea de corte una distancia de 0,7 (Figura 3.23), quedaron conformados cuatro grupos principales. La accesión de *A. pseudoscaber*, se ubicó por separado del resto de accesiones de *A. officinalis* por lo que se consideró como fuera de grupo y se observa desconectada de los cuatro grupos principales a una distancia de 0,707 (valor de $p = 0,96$) (Figura 3.23). El grupo I comprende dos accesiones (ID E y F), el grupo II incluye tres accesiones (ID B, A y H), el grupo III incluye siete accesiones (ID 6, 7, 5, 4, 1, 2 y 3) y el grupo IV congrega el resto de las accesiones (ID G, C, D, 17, 20, 8, 10, 11, 15, 16,

13 y 12). La menor distancia entre las accesiones de *A. officinalis* (0,26) se observó en el Cluster I, entre Purple Passion (E) y Violetto d'Albenga (F) (Tabla 3.17).

Tabla 3.17 Distancia genética de Dice entre accesiones evaluadas molecularmente. Ver IDs en Tabla 2.5.

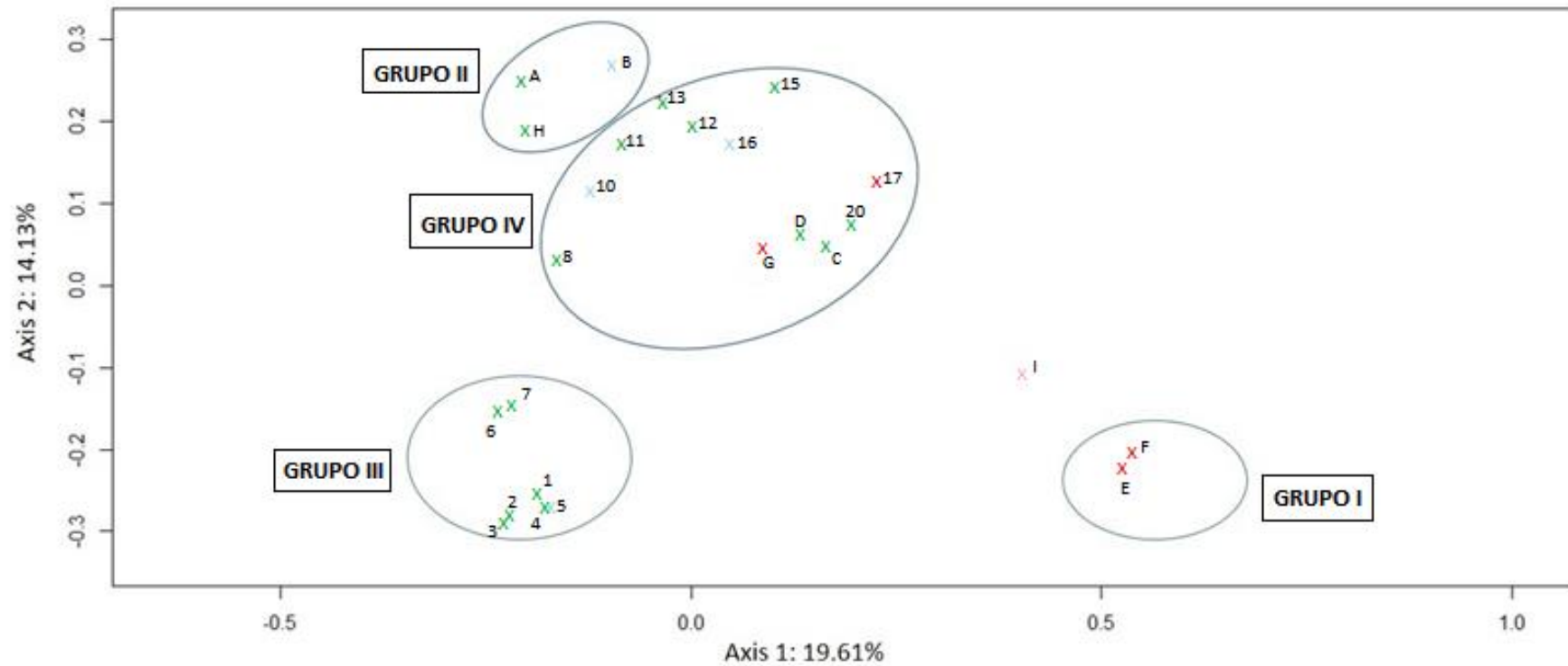
	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	15	16	17	20	A	B	C	D	E	F	G	H
2	0,45																							
3	0,51	0,40																						
4	0,51	0,53	0,44																					
5	0,55	0,57	0,53	0,49																				
6	0,59	0,61	0,58	0,56	0,55																			
7	0,60	0,66	0,64	0,57	0,59	0,38																		
8	0,65	0,68	0,65	0,67	0,66	0,60	0,62																	
10	0,69	0,71	0,71	0,72	0,72	0,62	0,66	0,57																
11	0,74	0,72	0,74	0,75	0,74	0,65	0,69	0,57	0,45															
12	0,71	0,75	0,74	0,73	0,74	0,72	0,73	0,66	0,64	0,64														
13	0,71	0,75	0,73	0,73	0,73	0,67	0,70	0,61	0,52	0,55	0,53													
15	0,79	0,80	0,78	0,80	0,79	0,77	0,80	0,67	0,66	0,60	0,60	0,54												
16	0,73	0,78	0,76	0,74	0,74	0,69	0,70	0,67	0,64	0,63	0,61	0,54	0,51											
17	0,75	0,81	0,81	0,76	0,79	0,78	0,79	0,75	0,77	0,71	0,67	0,69	0,60	0,59										
20	0,75	0,76	0,77	0,77	0,76	0,76	0,82	0,75	0,73	0,71	0,67	0,67	0,68	0,72	0,58									
A	0,81	0,83	0,80	0,80	0,81	0,74	0,74	0,74	0,72	0,69	0,78	0,70	0,81	0,77	0,84	0,86								
B	0,85	0,85	0,85	0,85	0,86	0,85	0,82	0,83	0,84	0,84	0,79	0,80	0,85	0,82	0,83	0,80	0,72							
C	0,69	0,76	0,73	0,70	0,72	0,74	0,73	0,75	0,75	0,76	0,61	0,66	0,72	0,66	0,61	0,61	0,77	0,72						
D	0,71	0,76	0,76	0,71	0,72	0,72	0,71	0,76	0,74	0,76	0,62	0,70	0,72	0,67	0,62	0,64	0,75	0,75	0,40					
E	0,87	0,90	0,90	0,88	0,87	0,89	0,89	0,90	0,90	0,90	0,87	0,87	0,85	0,82	0,76	0,80	1,00	1,00	0,74	0,76				
F	0,86	0,89	0,89	0,87	0,86	0,89	0,89	0,90	0,89	0,88	0,86	0,86	0,84	0,81	0,73	0,77	1,00	1,00	0,73	0,75	0,26			
G	0,75	0,76	0,76	0,77	0,74	0,75	0,77	0,76	0,76	0,77	0,69	0,71	0,75	0,73	0,74	0,74	0,81	0,85	0,66	0,68	0,82	0,81		
H	0,79	0,78	0,78	0,77	0,82	0,76	0,76	0,78	0,81	0,81	0,69	0,75	0,80	0,76	0,86	0,86	0,69	0,73	0,79	0,77	1,00	1,00	0,76	
I	0,88	0,90	0,89	0,89	0,89	0,91	0,92	0,88	0,87	0,87	0,85	0,84	0,82	0,87	0,79	1,00	1,00	1,00	0,81	0,83	0,74	0,74	0,86	1,00

Figura 3.23 Dendrograma para las accesiones de espárrago evaluadas molecularmente



El Análisis de Coordenadas Principales (ACooP), también basado en la matriz de distancias de Dice, se utilizó como otra forma de analizar las relaciones (agrupamiento) entre las accesiones de espárragos (Figura 3.24). Las coordenadas principales 1 y 2 explicaron el 19,61% y el 14,13% de la variación entre accesiones, respectivamente. En el sector derecho inferior de la figura se agrupan las accesiones incluidas en el grupo I del análisis de agrupamiento (E y F). En la parte inferior izquierda de la figura, se visualiza un grupo de accesiones que coincide con el grupo III del análisis de agrupamiento (accesiones 6, 7, 5, 4, 1, 2 y 3). El grupo II (A, B y H) se visualiza en la parte superior central de la figura, también pueden observarse a las accesiones del grupo IV agrupadas en la parte central, mientras que la accesión I ((*A. pseudoscaber*) queda separada del resto de los materiales evaluados.

Figura 3.24 Análisis de Coordenadas Principales para las accesiones evaluadas molecularmente (CP1: 19,61% y CP2: 14,13%). Ver IDs en la Tabla 2.5.



De acuerdo al nivel de ploidía y estado silvestre/cultivado de las accesiones, se simbolizó de manera distinta a cada tipo: x (Cultivado – Diploide), x (Silvestre – Diploide), x (Cultivado – Tetraploide) y x (Silvestre – Hexaploide).

EVALUACIÓN CONJUNTA DE DATOS FENOTÍPICOS Y GENOTÍPICOS

ANÁLISIS DE PROCRUSTES

Para evaluar el consenso entre los datos obtenidos en la evaluación fenotípica y la evaluación genotípica, se recurrió al análisis de Procrustes generalizado. La evaluación de este consenso, es posible relacionando el ACP realizado con los datos de la evaluación fenotípica, con el ACooP realizado con los datos de la evaluación genotípica de estos mismos materiales (accesiones parentales y testigos no comerciales de la Tabla 2.1).

En primer lugar se realizó el ACP con los datos morfológicos de todas las variables evaluadas en las accesiones parentales y testigos no comerciales incluidos en la Tabla 2.1. El análisis de CP explicó en un 74% la variabilidad total, con aportes del 52% de la CP1 y 22% de la CP2.

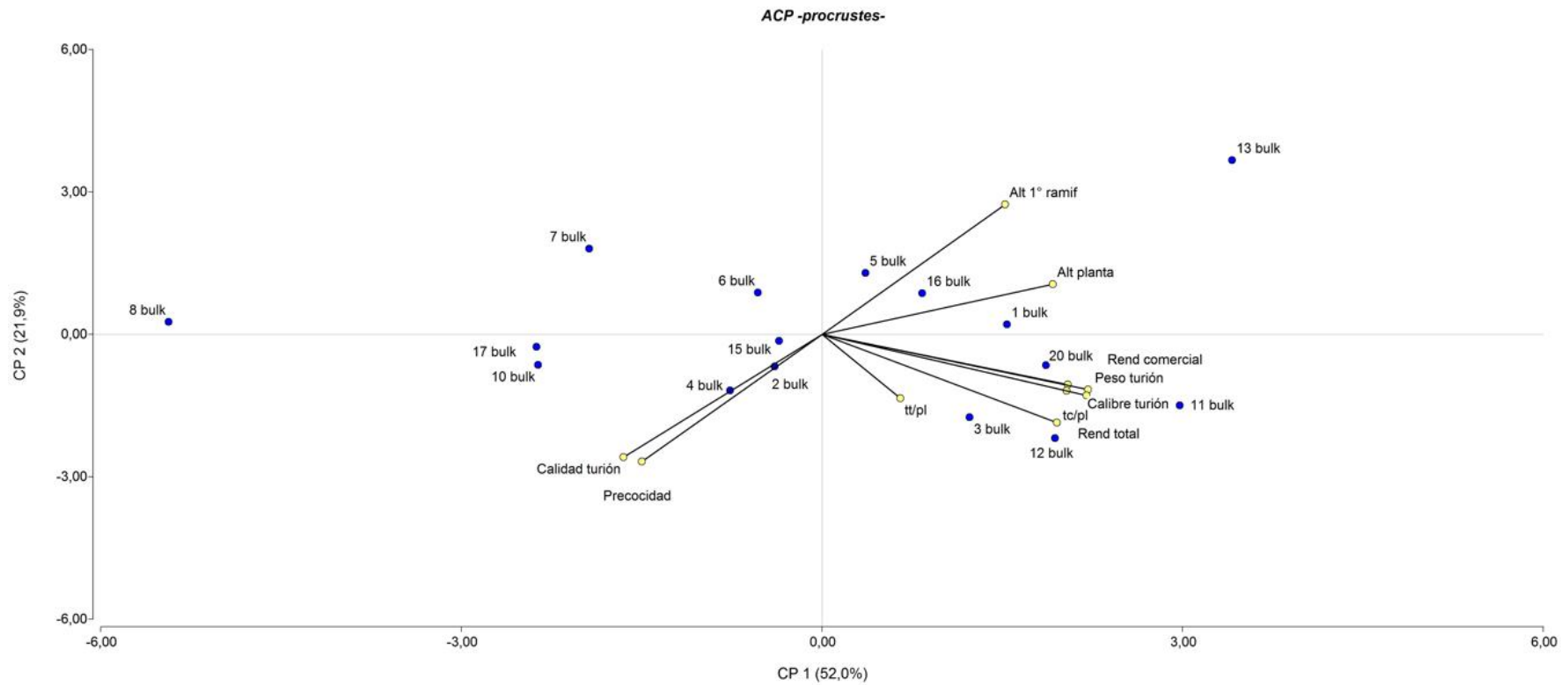
La incidencia relativa de cada una de las variables evaluadas en las CP 1 y CP 2, pueden observarse en la Tabla 3.18. Los autovectores de cada componente y sus correlaciones con las variables originales, son semejantes a los detallados previamente en el ACP conjunto. En ambos análisis, los aportes de las variables peso y calibre de turión, rendimiento total y comercial, tt/pl, tc/pl, altura a la primera ramificación y altura de planta fueron positivos para la primera componente, y los aportes de calidad de turión y precocidad negativos para la misma. De este modo para ambos análisis, aquellos materiales que presentaron mayores valores para la primera componente, se correspondieron con buenos y deseables comportamientos, asociándose con valores positivos de peso y calibre de turión, rendimiento total y comercial, tt/pl, tc/pl, altura a la primera ramificación, altura de planta, así como deseable calidad de turión y precocidad.

En la Figura 3.25 se observa que los materiales ubicados en los cuadrantes derechos se corresponden con los que presentaron mejores comportamientos tanto para las variables peso, calibre y calidad de turión, rendimiento total y comercial, tt/pl y tc/pl, altura de planta, altura a la primera ramificación y precocidad, entre ellos encontramos a los materiales 13 bulk, 11 bulk, 12 bulk, 20 bulk, 1 bulk, 3 bulk, 16 bulk y 5 bulk. Por otro lado, los materiales ubicados en los cuadrantes izquierdos: 17 bulk, 10 bulk, 4 bulk, 2 bulk, 15 bulk, 7 bulk y 6 bulk, comparten comportamientos no deseables frente a las variables mencionadas.

Tabla 3.18 Autovectores para cada componente principal, CP 1 y CP 2, de los materiales evaluados para el análisis de Procrustes.

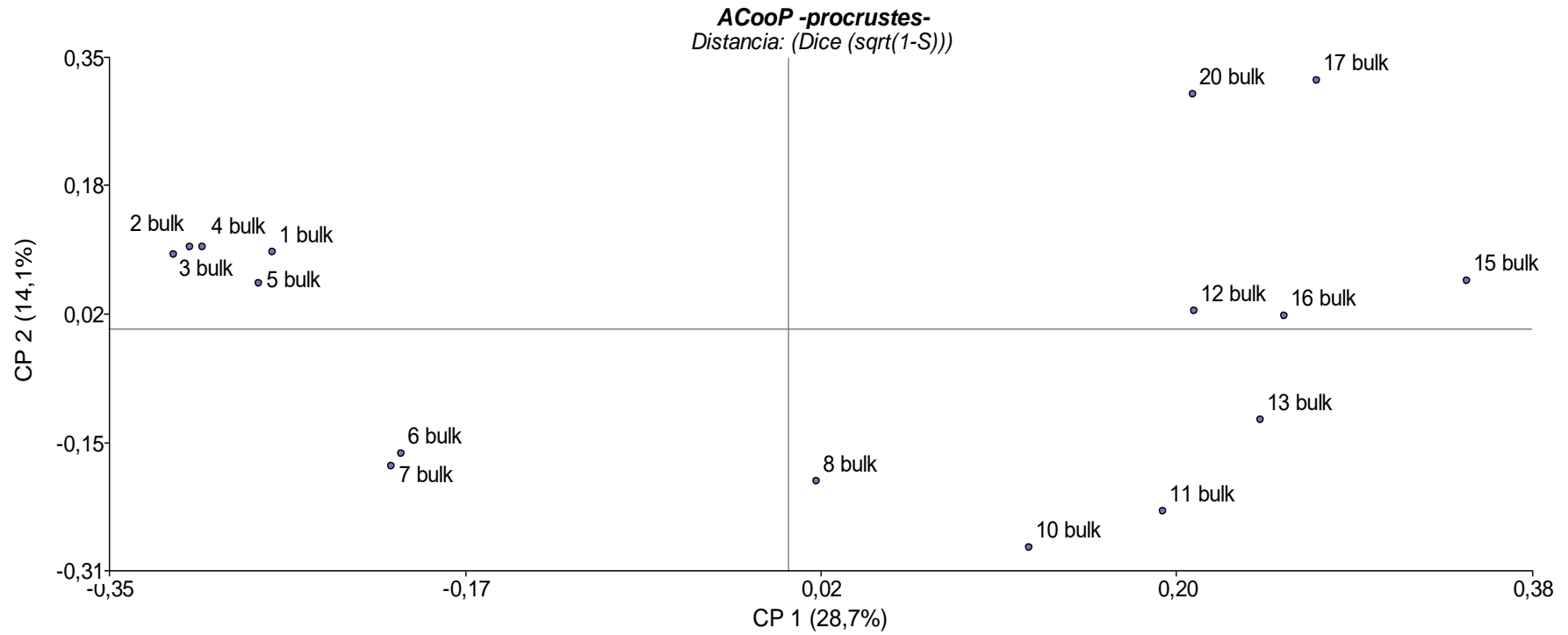
Variables	e1	e2
Peso del turión	0,35	-0,18
Calibre del turión	0,35	-0,21
Calidad del turión	-0,29	-0,45
Rendimiento total	0,34	-0,32
Rendimiento comercial	0,38	-0,20
Turiones totales/planta	0,11	-0,23
Turiones comerciales/planta	0,38	-0,22
Altura 1° ramificación	0,26	0,47
Altura de planta	0,33	0,18
Precocidad	-0,26	-0,46

Figura 3.25 Biplot elaborado a partir de ACP para los materiales involucrados en el análisis Procrustes generalizado.



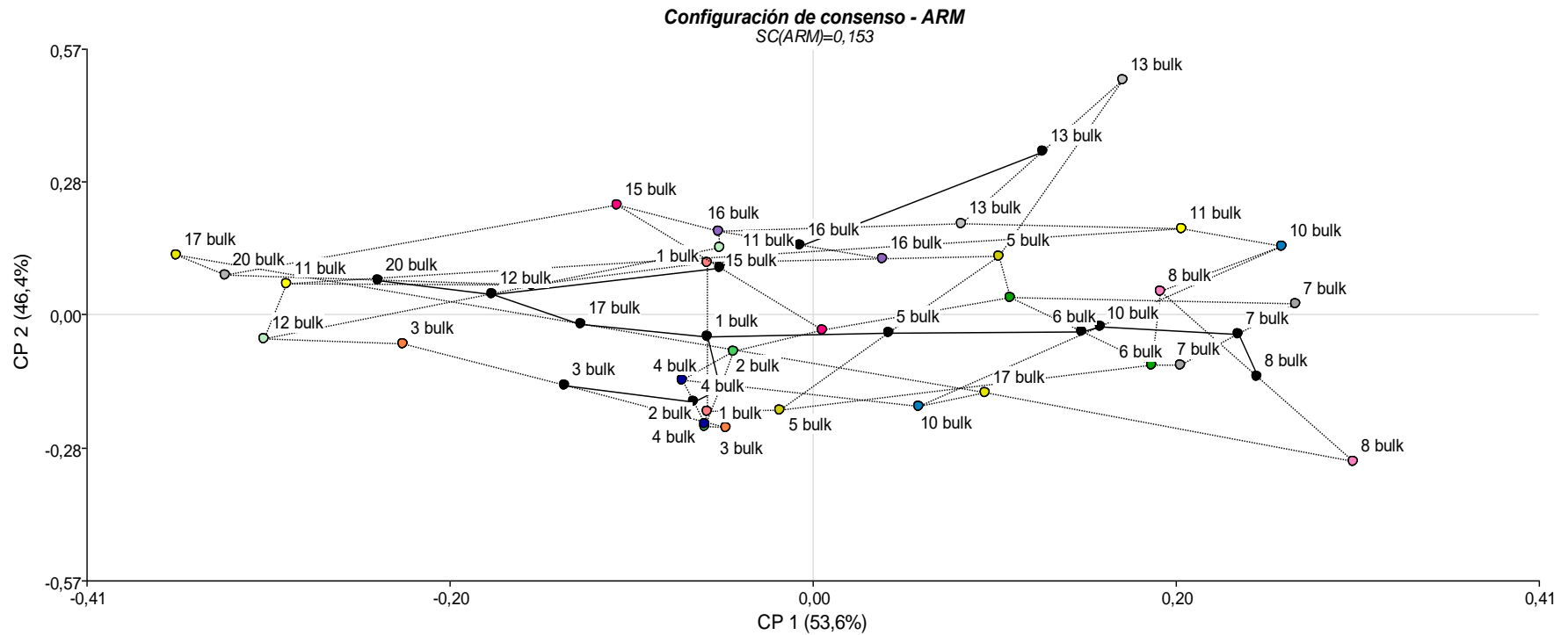
En segundo lugar, se realizó el Análisis de Coordenadas Principales (ACooP) para los materiales listados en la Tabla 2.1, excepto el testigo comercial. El ACooP arrojó que las Coordenadas Principales 1 y 2 explicaron juntas el 43% de la variabilidad total, en un 29% y 14% respectivamente (Figura 3.26). Puede observarse que en los cuadrantes izquierdos, se encontraron sólo aquellos cultivares que en la evaluación genotípica se agruparon en el Grupo II (Figuras 3.23 y 3.24); y dentro de ellos, más distantes los cultivares 6 bulk y 7 bulk evidenciando su mayor cercanía. En los cuadrantes derechos, se observa el resto de los cultivares, que conformarían el Grupo IV en la evaluación genotípica; pudiendo observar a los cultivares 17 bulk y 20 bulk, más distintantes en ambos análisis.

Figura 3.26 Análisis de Coordenadas Principales realizado con datos genéticos de las accesiones en estudio.



Para evaluar el consenso de ambos análisis, se condujo el análisis de Procrustes generalizado. La proporción acumulada de los valores lambda fueron 0,536 para el Lambda 1 y 0,464 para el Lambda 2, donde se reflejó un consenso entre los datos evaluados de un 61%. La Figura 3.27 refleja el Procrustes generalizado anteriormente mencionado, con el árbol de recorridos mínimos (ARM). Se observa allí que los puntos negros representan el consenso de los datos fenotípicos y genotípicos, y éstos en distinto color para cada cultivar.

Figura 3.27 Procrustes generalizado y Árbol de recorridos mínimos (ARM). Consenso entre el análisis CP y ACooP para los cultivares parentales y testigos no comerciales. Círculos negros representan el consenso de los datos fenotípicos y genotípicos de cada cultivar; círculos de colores representan los datos fenotípicos y genotípicos de cada cultivar.



CORRELACIÓN ENTRE HETEROSIS Y DISTANCIA GENÉTICA

Los coeficientes de correlación entre heterosis y distancia genética oscilaron entre 0,04 y 0,29 en el set 1 (Tabla 3.19) y entre 0,07 a 0,41 en el set 2 (Tabla 3.20). Sin embargo, ninguno de estos valores resultó significativo (p -valores $> 0,01$). Los resultados reflejan que la distancia genética no presenta correlación significativa con los valores de heterosis calculados para las diez variables estudiadas en ambos sets de materiales.

Tabla 3.19 Correlación genética entre Distancia Genética y Heterosis para las variables estudiadas en el set 1.

		% H Peso turión	% H Calibre turión	% H Calidad turión	% H Rend total	% H Rend com	% H tt/pl	% H tc/pl	%H altura 1° ramif	% H altura planta	% H Precocidad
Distancia genética	Coeficiente de correlación	-0,27	- 0,25	0,16	-0,06	-0,22	-0,05	-0,29	-0,06	-0,11	0,04
	p-valor	0,16	0,21	0,41	0,77	0,10	0,79	0,14	0,76	0,59	0,85

Tabla 3.20 Correlación genética entre Distancia Genética y Heterosis para las variables estudiadas en el set 2.

		% H Peso turión	% H Calibre turión	% H Calidad turión	% H Rend total	% H Rend com	% H tt/pl	% H tc/pl	%H altura 1° ramif	% H altura planta	% H Precocidad
Distancia genética	Coeficiente de correlación	0,08	0,19	-0,27	0,41	-0,16	-0,40	-0,17	0,07	0,11	-0,22
	p-valor	0,75	0,41	0,26	0,08	0,50	0,08	0,49	0,78	0,65	0,32

4. DISCUSIÓN

El cultivo de espárrago se ha convertido desde hace algunos años en un gran atractivo del mejoramiento vegetal debido principalmente a que constituye una alternativa de diversificación productiva perenne muy valorada globalmente (Castagnino et al., 2009), por lo que se espera que su producción siga creciendo con un aumento del cultivo principalmente bajo invernaderos y con el apoyo de nuevas tecnologías para abastecer la demanda. En los últimos diez años, la demanda de espárrago ha superado la oferta en países europeos, Estados Unidos y China; mientras que en países sudamericanos como México y Perú, su producción ha ido en aumento y permitió abastecer mercados internacionales casi todo el año, exportando inclusive a otros países tradicionalmente productores de espárrago como Estados Unidos, Países Bajos, España, Reino Unido y Japón. En nuestro país, el cultivo fue introducido por inmigrantes italianos a comienzos del siglo XX, y alcanzó máximos niveles de producción en la década de 1990, cuando se produjeron exportaciones al hemisferio norte (Estados Unidos, Alemania, Suiza y Reino Unido) entre los meses de agosto y diciembre, previamente a la cosecha en dichos países (Riviera y Rodríguez, 1999). Posteriormente disminuyó su expansión, encontrándose actualmente en una nueva etapa de expansión que responde a la demanda de alimentos con calidad nutricional (Díaz et al., 2022). Si bien Argentina se encuentra entre los países con mayor producción de espárrago a nivel mundial, su productividad por hectárea ha permanecido estable, sin incrementos del rendimiento en los últimos treinta años (Estadísticas FAO, 2022).

A lo largo del mejoramiento de esta especie se han desarrollado diferentes tipos de materiales, buscando incrementar el rendimiento y la uniformidad del cultivo; sin embargo, no se han producido recambios importantes en cuanto a los materiales utilizados y los mismos cultivares permanecen en producción desde hace varias décadas. Lo anterior se explica, debido a que el mejoramiento convencional del espárrago es un proceso arduo y económicamente costoso ya que se necesitan de 10 a 15 años hasta la obtención de un nuevo cultivar (Vera Vega, 2021). Por otro lado, para alcanzar niveles de producción competentes con los obtenidos a partir de materiales provenientes de compañías de semillas extranjeras, es importante desarrollar materiales adaptados a las condiciones locales de cultivo, dejando de lado la reproducción rutinaria de materiales introducidos (Gatti et al., 2007).

En este contexto, con el objetivo de asistir al desarrollo de cultivares híbridos nacionales de espárrago de alta performance y competitivos en el mercado local, se

procedió al desarrollo de materiales experimentales siguiendo un esquema de cruzamientos dialélicos sin recíprocos, los cuales fueron caracterizados fenotípicamente para caracteres productivos y vegetativos, así como también sus parentales fueron caracterizados genéticamente mediante marcadores moleculares de tipo SRAP.

Para el desarrollo de la presente tesis, se priorizó utilizar como parentales materiales de acceso libre para la comunidad de mejoradores de espárrago, que provienen de una extensa búsqueda en diferentes bancos de germoplasma con accesiones de espárrago disponibles y públicas. Del sistema GRIN de los Estados Unidos, se recibieron nueve entradas (PI), del IPK Genebank (Alemania) cinco accesiones, y del Nordic Gene Bank, Suecia, tres genotipos. Se incrementó la lista de materiales con tres cultivares estadounidenses muy conocidos (UC 157, Atlas y Purple Passion), disponibles en Walker Brothers Inc., EE. UU.; dos cultivares alemanes proporcionados por Spargelzucht, Seed Company; y el francés Argenteuil, obtenido por la Compañía Vilmorin. Además, se incluyó el material Violetto d'Albenga, de origen italiano, donado por el Profesor Agostino Falavigna de la Unidad de Investigación en Horticultura del CRA (Lodi, Italia); y un material argentino, Punta Violeta Cereseto. La mayoría de las accesiones fueron utilizadas como progenitores en el desarrollo de los sets de cruzamientos (Tabla 2.1); y todas fueron evaluadas molecularmente (Tabla 2.5). Como testigo comercial se incorporó el material Atticus, un cultivar "todo macho" de la empresa Bejo Ibérica, debido a que es extensamente cultivado por productores de nuestro país.

La evaluación fenotípica de los materiales experimentales utilizados en este trabajo de tesis, durante sus dos primeras cosechas (2019 y 2020) permitió estimar las performances o comportamiento agronómico de los materiales así como también otros caracteres asociados al rendimiento y calidad de los turiones producidos, como fueron la altura a la primera ramificación y altura de planta. De acuerdo con Bussell y colaboradores (1987) el rendimiento acumulado en los dos primeros años de cosecha en este cultivo está altamente correlacionado con el rendimiento en las siguientes temporadas por lo que los dos primeros años de producción son buenos estimadores del comportamiento de los demás años productivos de una esparraguera. En total se procesaron 16.737 turiones de espárrago verde, 5.285 en la primera cosecha (2019) y 11.442 en la segunda (2020). En el segundo año, la producción de espárrago fue mayor, lo cual es esperable ya que la porción perenne de la planta produce año tras año un número mayor de yemas que dan origen a turiones de tamaño comercial, debido a un aumento del diámetro de las yemas en sí mismas, mientras que el grosor de los turiones es un carácter que queda definido en el primer año productivo para toda la vida útil de la esparraguera (Cointry et al., 2000).

La caracterización fenotípica se realizó a partir de la medición de caracteres productivos tales como peso, calibre y calidad del turión, rendimiento total, rendimiento comercial, turiones totales por planta, turiones comerciales por planta, precocidad; y vegetativos como altura a la primera ramificación y altura de planta. Todos estos rasgos cuantitativos están controlados por un gran número de genes desconocidos hasta la fecha, donde cada una de las regiones genómicas tiene un pequeño efecto sobre la expresión total del rasgo, por lo que dependiendo del ambiente en el que se evalúen, y del fondo genético, cada material presentará entonces sus propios efectos genéticos (Hallauer et al., 2010).

En la evaluación de los 60 materiales de espárrago, resultó importante distinguir rendimiento total y rendimiento comercial, siendo este último estimado a partir de turiones con calidad y calibre de valor comercial; lo cual refleja el verdadero potencial de los materiales en el mercado. Se han reportado numerosos estudios en el cultivo en los que se evaluó la correlación fenotípica de diferentes caracteres con el rendimiento a fin de identificar variables de más sencilla medición para emplearse como criterio de selección (Muñoz et al., 2006; Cointry et al., 2000; Ellison y Scheer, 1959; Thévenin, 1967; Wolyn, 1993; Rameau, 1990). La correlación entre el diámetro del turión y el número de turiones ha sido extensamente discutida (Ellison et al., 1960 y 1986; Pandita y Bhan, 1990) con resultados contradictorios, por lo que ambas variables deben ser consideradas como componentes del rendimiento comercial. En este mismo sentido, también se resalta la importancia del carácter precocidad en producción; a fin de estratégicamente seleccionar materiales que ingresen al mercado de forma anticipada; y considerando además su significativa correlación positiva con la calidad del turión (Amato et al., 2021b). Cointry y colaboradores (2000) concluyeron que el número de turiones y el peso de los turiones, estando este último asociado con su diámetro, son los componentes más importantes del rendimiento y que otros caracteres vegetativos tales como el peso de los helechos, el número de tallos y la altura de la planta no se correlacionan de manera significativa con el rendimiento, por lo que no deberían ser consideradas como criterio de selección. Sin embargo, Amato y colaboradores (2021b) encontraron que caracteres tales como la altura a la primera ramificación y la altura de los helechos (o altura de planta) están correlacionados con la calidad de turión, y por lo tanto podrían ser considerados como criterio de selección en el desarrollo de nuevos cultivares de buen rendimiento comercial.

Al analizar la variancia entre materiales para los caracteres productivos y vegetativos, en ambos sets de cruzamientos, se pudo observar que para el set 1, tanto los cruzamientos como los parentales presentaron comportamientos significativamente diferentes en todas las variables estudiadas. Mientras que para el set 2, se encontró un

comportamiento similar entre todos los cruzamientos; excepto para altura de planta, valores que no fueron significativamente diferentes; mientras que no se observaron diferencias significativas entre los parentales para las variables rendimiento total, rendimiento comercial y tc/pl. Resultando interesante, comparar el comportamiento de todos los materiales – sin discriminar entre set 1 y set 2-; para poder evaluar conjuntamente las performances de los cruzamientos, parentales y testigos, en cada una de las variables. Esto permitió identificar materiales que se destacaron por mayores o menores valores medios más allá del set dialélico en el que fueron evaluadas sus aptitudes combinatorias, agrupó a materiales que no presentaron diferencias significativas y facilitó la comparación de performances con los testigos.

La evaluación de la proporción de sexos para los materiales experimentales permitió comprobar si los caracteres productivos están correlacionados con el sexo de las plantas. La proporción de plantas femeninas y masculinas en los materiales evaluados resultó 1:1, y al comparar en términos productivos los materiales dioicos con el testigo comercial todo macho (Atticus); si bien éste último presentó destacables valores medios para la mayoría de las variables evaluadas, no se encontraron diferencias significativas con los materiales experimentales dioicos desarrollados en la presente tesis, por lo que el testigo todo macho no presentó un comportamiento agronómico en términos productivos ni vegetativos, superior a cultivares dioicos. Si bien en los lotes de producción serían preferibles las plantas estaminadas, ya que impedirían la resiembra por semillas que caen de las plantas femeninas y el desarrollo de plantas indeseadas (plantas guachas), en algunos cultivares se ha observado que no existen diferencias en cuanto al rendimiento comercial, dado que el mayor número de turiones ofrecido por las plantas estaminadas se compensa por el mayor diámetro de los turiones de las plantas pistiladas (Thevenin, 1967; Bannerot et al., 1969; Ley et al., 1976; Cointry et al., 1996). Más recientemente, Gatti y colaboradores (2000), al evaluar siete poblaciones de espárrago, encontraron diferencias significativas para el rendimiento entre plantas estaminadas y pistiladas, en tan solo una de ellas donde las plantas pistiladas resultaron significativamente superiores para peso y diámetro de turión mientras que para el número de turiones las diferencias resultaron menores (no significativas). Es así que la dioecia representaría un carácter de importancia en el mejoramiento de la especie relacionada con las técnicas de cruzamientos y obtención de materiales homocigotos (López-Anido y Cointry, 2008); pero no representa una amenaza expresando menor rendimiento en términos productivos.

El material experimental que presentó mejores comportamientos para el conjunto de las variables estudiadas, fue el cruzamiento 12x13. Este material obtuvo, el mejor valor

medio para rendimiento comercial, y los segundos mejores valores medios para peso y calibre de turión; sin diferencias significativas con el testigo comercial. Además presentó los mejores valores en cuanto a calidad, y los mayores valores medios para rendimiento total y número de turiones comerciales por planta, diferenciándose del resto de los materiales en la prueba de comparación de medias. Para altura a la primera ramificación, el mismo cruzamiento presentó el segundo valor medio más alto, y fue el segundo más precoz en entrada en producción; luego de uno de sus parentales (ID 13: UC 157). Por otro lado, presentó una altura de planta, que lo ubicó cuarto con respecto al valor medio más alto, sin presentar diferencias significativas con los tres materiales anteriores (13x20, 3x13 y 1 bulk). Otros cruzamientos con comportamientos destacables fueron el 10x12, con altos valores medios para peso, calibre de turión, y rendimiento comercial; el cruzamiento 1x12, que presentó altos valores medios para peso, calibre de turión, rendimiento comercial y tc/pl; el 13x20, que se destacó en calidad, tt/pl, altura a la primera ramificación y altura de planta; el cruzamiento 10x13, con valores medios altos para rendimiento total y tt/pl; el 3x12, destacado para rendimiento comercial; el 8x11, destacado para calidad y rendimiento comercial; los cruzamientos 11x13 y 4x13, destacables para precocidad. Al observar los parentales de los cruzamientos que obtuvieron los mejores comportamientos, se destacan los parentales 12 (Argenteuil) y 13 (UC 157), que además de expresar la mejor combinación híbrida para el conjunto de las variables estudiadas (12x13), intervienen en un mayor número de veces, con respecto al resto de los parentales, entre las mejores combinaciones híbridas.

El cultivar Argenteuil (ID 12), es una antigua variedad de polinización abierta. Es muy apreciado por sus gruesos turiones con puntas tiernas y un excelente sabor, presenta precocidad, y en Francia es tradicionalmente producido para obtención de espárrago blanco (Seedhaolic, 2022). Ha sido estudiado en numerosas oportunidades, existen reportes donde se han comparado plantas pistiladas y estaminadas del cultivar (Thévenin 1967), se ha evaluado para selección temprana de plantas elite (Cointry et al., 2000), se ha estudiado para la selección de progenitores de nuevos cultivares de espárrago (Gatti et al., 2003). Mientras que el cultivar UC 157 (ID 13), el cual ha sido tradicionalmente producido para espárrago verde, se caracteriza por su alto rendimiento, gran calidad y amplia adaptación (Krarup y Krarup, 2002), es muy precoz y con turiones de brácteas cerradas pero bajo calibre al ser comparado con otros materiales (Marina et al., 2010). Los productores argentinos, han cultivado tradicionalmente al cultivar UC 157 (Castagnino et al., 2009), el cual ha sido producido y estudiado alrededor del mundo hasta en la actualidad. Se utilizó exitosamente como progenitor diploide para la obtención de híbridos triploides al combinarse

con materiales tetraploides (Moreno et al., 2010) y fue evaluado como germoplasma de espárrago para determinar progenitores de híbridos y facilitar la mejora genética (Chen et al., 2020).

En el análisis de la variancia, el contraste entre 'Cruzamientos vs Parentales', permitió visualizar las posibles variables que presenten heterosis aprovechable, siendo la significancia de este último contraste la prueba de heterosis según lo propuesto por Hallauer y Miranda Filho (1988). Al evaluar heterosis con respecto al mejor padre, se han encontrado valores de heterosis (%) aprovechables en todas las variables estudiadas, y para ambos sets de cruzamientos. Dentro del set 1, se alcanzaron valores de heterosis que han superado el 100%, como en los cruzamientos 4x13 y 7x8 para rendimiento comercial y para turiones comerciales por planta. A pesar de que para este set, el contraste Cruzamientos vs Parentales, resultó no significativo para rendimiento comercial y turiones comerciales por planta, estas dos variables fueron donde se expresaron los mayores valores de heterosis. En el set 2, los valores de heterosis fueron de hasta un 300%, con respecto al mejor padre en distintos cruzamientos. El 12x13 alcanzó los mayores valores de heterosis para rendimiento comercial y tc/pl y altos para rendimiento total; mientras que el cruzamiento 10x13, alcanzó altos valores para turiones comerciales por planta y rendimiento total; los cruzamientos 6x10, 1x12 y 3x13 lo demostraron para turiones comerciales por planta y rendimiento comercial; el cruzamiento 10x12 para rendimiento total, y valores cercanos al 100% para rendimiento comercial y turiones comerciales por planta. Para este set de cruzamientos, el contraste Cruzamientos vs Parentales, había demostrado ser significativo para las variables rendimiento comercial y rendimiento total; pero no significativo para la variable turiones comerciales por planta, sin embargo en esta última variable se demostró que también se alcanzaron altos valores de heterosis. Estos resultados sugieren que la no significancia del contraste Cruzamientos vs Parentales, no necesariamente indica ausencia de heterosis aprovechable; como así tampoco, que la significancia del contraste, la asegure. Al evaluarse individualmente, algunos cruzamientos resultaron heteróticos y otros no; esta compensación afectó la estimación del contraste resultando no significativo, incluso cuando se alcanzaron en algunas cruza altos porcentajes de heterosis.

En estudios previos donde se evaluó la heterosis en el cultivo, se han alcanzado valores máximos de heterosis con respecto al mejor padre para rendimiento de 200%, en cruza entre líneas y variedades comerciales de espárrago (plantas hembras) con clones hermafroditas y otras variedades comerciales (plantas macho) (Ito y Currence, 1965). Rameau (1990), reportó altos porcentajes de heterosis con respecto al mejor padre, con valores dos veces más altos de los híbridos respecto a sus padres homocigotos, para

rendimiento por hectárea; mientras que Wehner (1999) reportó valores de heterosis del 106%, al comparar al espárrago con numerosas especies hortícolas de polinización cruzada. Nuestros resultados expresaron valores comparables con los mencionados anteriormente, y en algunas oportunidades superiores al estimar la heterosis con respecto al mejor padre. En papaya, especie también dioica, al evaluar heterosis para productividad -t/ha- se reportaron máximos valores de 256,10% (Cardoso et al., 2014). En otras especies como tomate se han alcanzado máximos valores de heterosis con respecto al mejor padre de 149,24%, para rendimiento -t/ha- (Tamta et al., 2018), en maíz se obtuvieron valores de 278%, para rendimiento en grano (Tesfaye et al., 2021), como también en sorgo máximos valores de 111,10%, para rendimiento en grano (Wagaw, et al., 2020).

La base genética de la heterosis puede depender del carácter y de la especie evaluados, y puede explicarse no sólo por una teoría de heterosis, sino por la combinación de múltiples teorías (Li et al., 2015). Los altos valores de heterosis alcanzados en algunos cruzamientos, podrían ser explicados en algunos casos por la acumulación de loci con alelos dominantes que aporten mayor vigor al carácter expresado por la crusa (teoría de la dominancia); por mayor cantidad de loci en estado heterocigotas que favorezcan la homeostasis y el comportamiento de las cruas (teoría de la sobredominancia); por la combinación y acumulación en los cruzamientos, tanto de loci con alelos dominantes, como en estado heterocigotas; y/o efectos epistáticos, basados en interacciones no alélicas, que permitieron expresar performances superiores en las cruas (Yu et al., 2021). La combinación de las teorías permitiría explicar valores de heterosis con respecto al mejor padre, que superaron los 100%, 200% y 300% en los cruzamientos de espárrago.

La determinación de la heterosis útil, nos permitió identificar cruzamientos que expresaron un comportamiento superior al testigo comercial Atticus; el cual ha demostrado buenas performance para la mayoría de las variables en estudio. Esta estimación refleja la importancia económica de las cruas que alcanzaron heterosis útil, así como también es relevante que el testigo comercial utilizado haya demostrado buena adaptación local (Huanuqueño Coca et al., 2019; Prakash et al., 2010). El cruzamiento 12x13, expresó heterosis útil para ocho de las diez variables en estudio, demostrando nuevamente un comportamiento superior a los demás cultivares; mientras que el cruzamiento 10x13, expresó heterosis útil para rendimiento total y altura a la primera ramificación; así como un gran número de cruzamientos expresaron mayor precocidad (1x12, 10x12, 11x13, 11x20, 13x20, 3x12, 4x13, 6x10, 7x13, 8x11). La mayoría de los cruzamientos que expresaron heterosis útil para caracteres vegetativos, no expresaron lo mismo para caracteres productivos. Por su parte, la heterosis útil alcanzada en el carácter tt/pl, no reviste interés si

la heterosis útil para rendimiento total no la acompaña; dado que un elevado número de turiones pero de bajo peso, asociados directamente con bajos calibres, expresan rendimientos totales no aprovechables.

Los diseños de cruzamientos dialélicos han sido ampliamente utilizados en los programas de mejora de un gran número de cultivos ya que proporcionan información sobre la capacidad de combinación o aptitud combinatoria general (ACG) de los progenitores, la capacidad de combinación o aptitud combinatoria específica (ACE) en todos los cruzamientos y los componentes de la varianza genética (Halluer et al., 2010; Dehghani et al 2013; Guzmán et al., 2017; Malik et al., 2004). De acuerdo a López-Anido y Cointry (2008), el rendimiento de un híbrido de espárrago dependerá de las ACG de los progenitores, y de la ACE de cada cruce. Teniendo en cuenta la naturaleza dioica de la especie, no se han encontrado evidencias de que algún carácter sea determinado exclusivamente por parentales pistilados o estaminados, a excepción del sexo (Corriols, 1984). Asprelli y colaboradores (2005a), analizaron el rendimiento comercial en un set de 18 híbridos de espárrago obtenidos a partir de genotipos elite, en un ensayo que incluyó dos manejos del cultivo (sin alomar para producción verde y alomado para blanco) durante dos temporadas productivas, sin encontrar diferencias significativas entre las cruces recíprocas, por lo que este carácter no estaría influenciado por el sentido del cruzamiento. Así como el rendimiento, todos los caracteres de herencia cuantitativa en espárrago, segregan independientemente del sexo (López-Anido y Cointry, 2008). El Análisis de ACG por el método de Griffing (1956), mostró diferencias significativas para todas las variables en ambos set evaluados, a excepción de la variable altura de planta para el set 2, y se identificaron los parentales 13, 12, 11 y 4 como aquellos que presentaron los mayores valores. En el análisis ACE, en el set 1 todas las variables fueron significativas, mientras que para el set 2, el calibre del turión fue no significativo. En líneas generales, los mayores valores para ACE fueron obtenidos en cruces donde participaron los parentales con mayor ACG. Los resultados obtenidos permiten identificar al cruzamiento 12x13 como la mejor cruce al expresar los mayores valores de ACE para la mayoría de las variables en estudio, así como también sus parentales (ID 12 ; ID 13) presentan altos valores de ACG. Diversos estudios han evaluado la relación entre ACG, ACE y la heterosis a fin de predecir el comportamiento de materiales híbridos y delinear adecuadas estrategias de mejora en diferentes cultivos. Singh y colaboradores (2013), analizaron cruzamientos dialélicos completos de siete líneas de calabaza amarga y encontraron que las combinaciones de materiales con ACG altos (alto x alto ACG) generalmente producían altos efectos de ACE y, por lo tanto, podrían considerarse para su uso en el desarrollo de variedades superiores

mediante el método de pedigree. Resultados similares han sido reportados en frijol y sorgo (Franco et al., 2001; Kenga et al., 2004). En cuanto a la relación ACG/ACE, tanto en el set 1 como en el 2, se observan efectos genéticos preponderantemente de tipo no aditivos en la mayoría de las variables estudiadas, excepto para precocidad en el set 1 y peso y calibre del turión en el set 2. Es importante, que para lograr cruzamientos heteróticos, los efectos genéticos no aditivos, superen a los aditivos; y esto ocurre para la mayoría de los caracteres evaluados en ambos sets de cruzamientos. Asprelli y colaboradores (2005b), evaluaron ACG y ACE en un set de híbridos de espárrago bajo dos sistemas de producción y observaron que la importancia de los componentes aditivos de la variancia eran mayores que la de los componentes no aditivos; obteniendo valores útiles de ACE para algunas de sus cruza. En este trabajo de tesis, para la mayoría de los caracteres evaluados fueron los componentes no aditivos quienes aportaron en mayor medida, y de quienes se espera que sumen al vigor híbrido. Resultados similares han sido obtenidos al evaluar aptitudes combinatorias en maíz, donde Suyadi y colaboradores (2021), encontraron que las acciones génicas no aditivas fueron más importantes para el control de caracteres como longitud de espiga, número de hileras por espiga, peso de mazorca y rendimiento, y alcanzar las más altas heterosis; resultados semejantes fueron obtenidos en algodón, donde se reportaron mayores efectos de la ACE en rendimiento de semilla y otros caracteres que aportan directamente al rendimiento, como peso y número de capullos, para ser explotados en búsqueda de heterosis (Vekariya et al., 2017); en este mismo sentido, para rendimiento en zapallo de verano, López-Anido y colaboradores (2003) demuestran una mayor importancia de la variación debida a ACE que a la ACG, que se ve reflejada en altas performances de los híbridos.

Si bien el análisis de datos dialélicos usualmente se realiza mediante el método de Griffing (1956), la adaptación del modelo SREG propuesto por Yan y Hunt (2002) permitiría una mejor comprensión del comportamiento de los progenitores ya que este tipo de datos generalmente tienen patrones complejos que son difíciles de interpretar sin la ayuda de algún tipo de gráfico (Dehghani et al., 2013). Este enfoque biplot basado en datos dialélicos permite estimar tanto la ACG y ACE, así como identificar posibles relaciones heteróticas entre diferentes genotipos (Yan y Hunt, 2002) y ha sido probado en diversos cultivos tales como maíz, zapallo, girasol, trigo, remolacha azucarera, cártamo y habas (Yan y Hunt, 2002; López-Anido et al., 2003; Mayor et al., 2006; Dehghani et al., 2013; Niazian et al., 2013, Golkar et al., 2017; Ibrahim y Ghareeb, 2020; Saremirad et al., 2021).

Esta adaptación del modelo SREG para cada una de las variables evaluadas en la presente tesis y en ambos set de cruzamientos, nos permitió analizar gráficamente el

comportamiento de los materiales parentales frente a las diferentes variables, visualizar cuáles presentan mejores valores de ACG y determinar las mayores ACE alcanzadas entre parentales facilitando identificar las cruzas superiores. Tanto para el set 1 como para el set 2, los GGE biplots obtenidos para las variables: calibre del turión, rendimiento total, rendimiento comercial, turiones totales por planta, turiones comerciales por planta, altura a la primera ramificación y altura de planta, reflejaron resultados similares a los obtenidos en las evaluaciones de ACG y ACE estimadas mediante el análisis convencional. Menores fueron los casos de materiales que por sus posiciones en los gráficos permitieron interpretar aptitudes combinatorias no respaldadas con los resultados en las evaluaciones convencionales, posiblemente debido a los porcentajes de variabilidad explicadas por algunas de las componentes. Las mayores ACG fueron presentadas por los parentales ID 13, ID 12, ID 11 e ID 4, y para la mayoría de estas variables el cruzamiento que presentó mayor ACE fue 12x13. Al interpretar los GGE biplots, para las variables calidad del turión y precocidad; las más altas ACE no pudieron ser identificadas siguiendo el mismo criterio de análisis que para las variables previamente citadas. Una de las razones que podría explicar esto es que, para ambas variables, menores valores medios en sus escalas expresan mejores comportamientos agronómicos. Mientras que para ACG, el comportamiento de los materiales para ambas variables observados en los biplots reflejaron resultados similares a los obtenidos en la evaluación de ACG estimada en el análisis convencional, siendo en ambos casos el parental ID 13 quien presentó los mayores valores, seguido por el parental ID 12.

En este trabajo de tesis, los resultados sugieren que, si bien los GGE biplots resultantes del análisis con el modelo SREG para la mayoría de las variables permitieron establecer interpretaciones sobre las ACE y ACG de los materiales, no deberían utilizarse como única herramienta para la toma de decisiones en programas de mejoramiento, ya que podrían presentarse fallas en la explicación de la variación total, concordando con lo expuesto por Yan y Hunt (2002). Estos recursos gráficos de descripción e interpretación, deben ser aprovechados junto con los resultados de evaluaciones para aptitudes combinatorias de análisis dialélicos convencionales. En este trabajo de tesis, el análisis de datos dialélicos con el modelo SREG, permitió la identificación de las mejores combinaciones parentales para la mayoría de los caracteres asociados a la productividad; destacando aquellas que alcanzaron altas ACE (cruzas superiores), siendo comparados con las evaluaciones de aptitudes combinatorias del análisis dialélico propuesto por Griffing (1956).

A fin de evaluar en forma multivariada a los materiales experimentales, se condujeron Análisis de Componentes Principales (ACP) para cada set de cruzamientos por separado, así como también combinando ambos set. El porcentaje de la variabilidad total explicada en el set 1 fue de 77%, mientras que en el set 2 y en el análisis combinando ambos set de cruzamientos fue de 74%. En cualquiera de los 3 análisis se pudo observar que la mayoría de las variables estudiadas se asoció de forma positiva con la CP1, mientras que las variables calidad y precocidad presentaron asociaciones negativas con la CP1. El biplot obtenido para el análisis conjunto de los datos de ambos sets fue similar al obtenido para el set 2. En líneas generales se observaron que las cruza 12x13, 1x12, 8x11, 3x12, 3x13 y 13x20 presentaron los mejores comportamiento, así como también los parentales 13 bulk, 11 bulk, y 20 bulk; y el testigo comercial Atticus. Los materiales con peores comportamientos fueron 8 bulk, 10 bulk, 17 bulk y 12 bulk, los cuales en la prueba de comparación de valores medios también obtuvieron, en general, los más bajos valores para los caracteres en estudio (el parental 8, para la mayoría de ellos; el 10, para calidad y altura a la primera ramificación; el material 12, para tt/pl y altura a la primera ramificación; y el 17, para calidad).

Se pudo observar que los materiales 12x13 y Atticus se destacaron en sus ubicaciones del resto, lo cual se refleja tanto con los mayores valores medios obtenidos por ambos cultivares para la mayoría de los caracteres, como así también los altos valores de heterosis alcanzados en el cruzamiento (12x13) para la mayoría de las variables estudiadas; y la heterosis útil aprovechable que alcanzó al ser estimada con el testigo comercial Atticus.

García y colaboradores (2021), evaluaron una población de 1000 plantas, y mediante un análisis de CP para caracteres agronómicos como precocidad, número de turiones, calibre y altura a la primera ramificación, lograron seleccionar 80 plantas para continuar con su plan de mejora. Sergio y colaboradores (2021), también a través de este tipo de análisis multivariado, evaluando calidad con parámetros de color, clorofilas, carotenoides, azúcares, composición de polifenoles, actividad antioxidante, materia seca, han logrado distinguir a los materiales silvestres y de los cultivados. Mientras que Kobus-Cisowska y colaboradores (2019), con análisis de CP, visualizaron que los materiales de espárrago verde, se encontraban cercanos y asociados a mayores contenidos de polifenoles, seguidos por los materiales de espárrago violeta y por último los blancos.

Según Hallauer y Miranda Filho (1988), si la superioridad de la combinación híbrida es grande respecto de sus parentales, se asume que los dos parentales son genéticamente más divergentes que para aquellos casos donde la heterosis no sea tan grande o no exista;

por lo que la expresión de heterosis depende de las diferencias en las frecuencias génicas de los parentales (López-Anido et al., 2003). Sin embargo, lo contrario no puede ser afirmado, es decir, la falta de respuesta heterótica no puede utilizarse para inferir falta de divergencia genética (Cress, 1966). Para maximizar el efecto heterótico potencial (relacionado con acciones génicas no aditivas y epistáticas), los padres seleccionados para las cruzas deberían provenir de poblaciones tan divergentes como sea posible (López-Anido y Cointry, 2008). Las formas cultivadas de espárragos se derivaron de un origen común relativamente reciente, la población "Violet Dutch" de Holanda (Geoffriau et al., 1992; Knaflewsky et al., 1996, Moreno et al., 2008). Además, no hay evidencias de ningún patrón heterótico claro para el rendimiento u otros caracteres de interés en el cultivo, pero algunos programas de mejoramiento han incluido intuitivamente a parentales con algún tipo de divergencia (Benson et al., 1996), mientras que otros programas de mejora ampliaron el abanico de parentales al incluir materiales de diferentes orígenes e inclusive realizar cruzas con especies silvestres relacionadas a fin de ampliar la base genética (Amian et al., 2018).

A fin de evaluar el grado de divergencia entre los materiales utilizados en la presente tesis y si esto se correlacionaba con la expresión de heterosis, se evaluaron a nivel molecular 25 materiales de espárrago provenientes de 13 orígenes distintos; 12 de ellos, provenientes de 11 orígenes diferentes, fueron utilizados como progenitores en los cruzamientos dialélicos. El análisis molecular se realizó a través de marcadores SRAP debido a la excelente relación información / costo que este tipo de marcadores presenta y a la amplia experiencia del grupo de trabajo con estos marcadores en otros cultivos (Cravero et al., 2007; Martín et al. 2008 y 2013; Guindón et al., 2016; Zayas et al. 2020). En el presente trabajo de tesis se reporta por primera vez la utilización de este tipo de marcadores para la caracterización de germoplasma de espárrago. Se obtuvo un alto grado de polimorfismo (98,48%) entre los 25 materiales caracterizados molecularmente, debido principalmente a que en dicha evaluación se incluyeron accesiones silvestres relacionadas. Niveles similares de polimorfismo han sido encontrados en otros estudios con este tipo de marcadores en los que se incluyeron materiales silvestres relacionados en la evaluación (Cravero et al., 2007; Van Cutsem et al., 2003).

Al analizar el dendrograma y el biplot del análisis de coordenadas principales (ACooP) obtenidos, se observó que la accesión de *A. pseudoscaber* (ID I), se posicionó en forma separada del resto de las accesiones de *A. officinalis* por lo que se consideró como fuera de grupo. El Grupo 1 (G-I), agrupó a los materiales tetraploides Purple Passion (ID E) y Violetto d'Albenga (ID F), lo cual se explica debido a que los cultivares violetas tetraploides evolucionaron a partir de una hibridación natural entre *A. officinalis* diploides y *A. maritimus*

(L.) Mill hexaploides (Castro et al., 2013). El cultivar Purple Passion fue seleccionado a partir de Violetto d'Albenga (Benson et al., 1996), el cual es una variedad local tetraploide cultivado en Italia por sus tiernos turiones verdes. Un segundo grupo (G-II) incluyó dos cultivares, Apollo (ID H) el cual es un híbrido clonal proveniente de California (Estados Unidos), y el material Huchel's Leistungsauslese (ID A) un tradicional cultivar alemán. La accesión Häljarp (ID B) también fue incluida en este grupo. Un tercer grupo (G-III) comprende a las accesiones Ivancicky (ID 6), Spaganiva (ID 7), 7673 (ID 5), Espárrago Grueso de Navarra (ID 4), KBF (ID 1), Dansk Kaempe (ID 2) y Limburgia (ID 3); provenientes de República Checa, Alemania, Turquía, España, Reino Unido, Dinamarca y Países Bajos, respectivamente. Todos los materiales involucrados en el G III, excepto el ID 2, fueron incluidos en los cruzamientos dialélicos. El cuarto grupo (G-IV) fue el que más materiales incluyó. Entre ellas a las accesiones alemanas Start (ID 20) y Huchel's Schneewittchen (ID D), ambas derivadas de la población Rhum von Braunschweig que es considerada como la fuente fundamental de los cultivares alemanes y holandeses (Skiebe et al., 1991; Knaflewski, 1996) y la accesión danesa Spangsbjerg (ID C) muy cercana a ID D. Este grupo también incluyó al cultivar ID 20, y al ID 17, siendo este último una generación avanzada tetraploide proveniente de la cruce entre *A. prostratus* y un material inducido por colchicina a partir del cultivar canadiense Viking (Mc Collum, 1988). También encontramos en el G-IV, el cultivar español 23 Logroño (ID 16), el cual es un cultivar silvestre; al material Asp 6 (ID 8), de origen ruso; el cultivar Asmundtorp (ID 10), silvestre o semi silvestre originario de Suecia; el material Argenteuil (ID 12), que es una variedad de polinización abierta (OP), muy antigua, originaria de Francia y que proviene de la población Giant Dutch (Vilmorin-Andrieux y Thomson, 1920); el cultivar Arslev 136 (ID 11), que es cultivar tradicional de Dinamarca; al material UC 157 (ID 13), de la Universidad de California (Benson y Takaori, 1978) relacionado con el cultivar Mary Washington (Knaflewski, 1996). Este último, Mary Washington, fue derivado a partir de la progenie de dos plantas selectas derivadas de los cultivares English Reading Giant y probablemente Argenteuil (Ellison, 1986), razón por la que UC 157 fue posicionado cercano a Argenteuil. Por último, el G-IV, incluyó al material Punta Violeta Cereseto (ID G), que es una variedad local de polinización abierta, cultivada para espárrago blanco en la localidad de Soldini (provincia de Santa Fe, Argentina).

En nuestro estudio, no fue posible establecer una agrupación clara relacionada con el origen de las accesiones. Resultados similares fueron reportados por Li y colaboradores (2016) cuando al estudiar 10 cultivares de espárrago utilizando 22 marcadores microsatélites, observaron una distribución poco clara entre las accesiones que

conformaban los diferentes grupos o conglomerados. Caruso y colaboradores (2008) utilizando EST-SSR estudiaron la diversidad genética entre 30 cultivares de espárrago y distinguieron dos grupos principales, uno comprendía todas accesiones americanas más algunos cultivares de España, Italia y Alemania; mientras que el segundo grupo incluía accesiones de Holanda, Alemania, España y Nueva Zelanda. Estos sugirieron que los mejoradores de espárragos en Europa y América del Norte han desarrollado y utilizado grupos de germoplasma algo diferentes, pero algunos cultivares pueden tener orígenes más complejos e incluir genes de ambas fuentes de germoplasma. Más recientemente, Chen y colaboradores (2020) utilizando ISSR, confirmaron dos conglomerados que no lograron separar claramente los cultivares de espárragos con respecto a sus procedencias; representantes norteamericanos, holandeses y chinos se posicionaron en ambos grupos; y concluyeron que la diversidad genética era mayor de lo que se pensaba a priori. García y colaboradores (2021), utilizando EST-SSR evaluaron la diversidad genética en un conjunto de materiales que reunió a espárragos cultivados diploides y a otros tetraploides y hexaploides; ellos concluyeron que la diversidad genética para los materiales cultivados diploides aún sigue estrecha, y que ésta podría verse enriquecida a través del uso de materiales hexaploides seleccionados en el mismo trabajo. Mousavizadeh y colaboradores (2021), trabajaron 20 accesiones de distintos subgéneros de *Asparagus* y a través del estudio de la diversidad genética con marcadores EST-SSR, concuerdan con la estrecha base genética en los actuales materiales de espárrago cultivados; ellos además observaron que en su análisis de conglomerados las accesiones no se agruparon por orígenes geográficos.

Seguramente debido a los reducidos ciclos de selección que acompañan a la especie desde el comienzo del mejoramiento moderno del espárrago (Gatti et al., 2005), y a la naturaleza de polinización abierta de la especie, si bien, no es posible establecer un claro agrupamiento por orígenes a partir del análisis de los datos moleculares, se pudo determinar que la base genética del espárrago no es tan estrecha como se pensaba en un principio.

A partir de los datos fenotípicos obtenidos a partir de la caracterización morfológica y los datos genotípicos obtenidos en la evaluación molecular, se procedió a un análisis de Procrustes generalizado (Gower, 1975) con aquellos materiales vegetales que fueron sometidos a ambas caracterizaciones. Este tipo de análisis brinda el ajuste de grupos de cultivares para diferentes configuraciones de atributos cualitativos y cuantitativos (Bramardi et al., 2005), utilizando los autovectores generados por el ACP de los caracteres fenotípicos y los autovectores generados a partir del ACooP de los datos moleculares. Como resultado se obtuvo un 61% de consenso entre ambos análisis y se observó que el material 13 bulk

presentó los mejores comportamientos productivos para la mayoría de las variables evaluadas, distinguiéndose claramente del resto de los materiales. Los materiales bulk 5, 6, 7, 8 y 10 se agruparon en el cuadrante inferior del Procrustes, y resultaron ser aquellos materiales con peores comportamientos para la mayoría de las variables productivas y con valores de ACG inferiores.

Tradicionalmente, en los programas de mejoramiento de diversos cultivos donde se buscan desarrollar materiales híbridos, se recurre a la estrategia de asociar la distancia genética entre progenitores con el éxito productivo de su progenie, asumiendo que cuanto más distintos o distantes genéticamente sean los genotipos parentales, mayor será la heterosis de la cruce resultante entre ambos (Fu et al., 2014; Salem et al., 2022; Laude y Carena, 2015; Moll et al., 1962). En espárragos, se encontró heterosis en cruces entre diferentes materiales (Ito y Currence, 1965; Rameau, 1990) y se han logrado avances significativos en la mejora del cultivo, mediante el uso de plantas derivadas de diferentes fondos genéticos (Benson et al., 1996; Boonen, 1988; Knaflewski, 1996). Otra alternativa para explotar la heterosis ha sido el desarrollo de triploides a partir de la variedad autóctona (landraces) española tetraploide “Morado de Huetor” y cultivares diploides actuales (Moreno et al., 2010). Como se mencionó en los resultados de la presente tesis, la correlación entre distancia genética, obtenida a partir del análisis de marcadores SRAP, y heterosis no fue significativa para ninguno de los caracteres productivos y vegetativos evaluados. Sin embargo algunos cruzamientos expresaron altísimos porcentajes de heterosis, con valores inclusive superiores al 300%, que resultan interesantes para ser aprovechados en nuestro programa de mejora de espárrago, aunque dichos valores superiores de heterosis no se hayan alcanzado entre materiales de mayor distancia genética. Es así que, a partir de los datos evaluados en la presente tesis, no es posible confirmar que la distancia genética y la heterosis para caracteres asociados a la productividad en espárrago se encuentren correlacionadas. Entre los materiales experimentales desarrollados, el cruzamiento que mejor comportamiento productivo tuvo, y que ha explotado heterosis para la mayoría de los caracteres evaluados fue el híbrido 12x13. Este proviene de la cruce entre el material 12 (Argenteuil de Vilmorin – Francia) y el material 13 (UC 157 de la Universidad de California – Estados Unidos), parentales originarios de países geográficamente distantes, pero que históricamente provienen de una población común. Sus orígenes están asociados a la población Argenteuil (Giant Dutch), a partir de la cual cultivares franceses, italianos y americanos fueron derivados y mejorados durante años. La cercanía genética entre estos parentales (0,53) estaría asociada con sus genealogías, sin embargo, la combinación entre ambos permitió obtener elevados niveles de heterosis. Esta cruce experimental podría ser

candidata al desarrollo de un híbrido local competitivo con los extranjeros ya existentes en el mercado local. En otros cruzamientos que resultaron heteróticos se han encontrado valores intermedios de distancias genéticas entre parentales, las cuales oscilaron entre 0,73 (4x13) y 0,52 (10x13).

Estudios realizados sobre otros cultivos, como girasol (Cheres et al., 2000) han permitido concluir que las distancias genéticas entre los materiales utilizados se correlacionan significativamente con el rendimiento en semillas de los híbridos, pero que la distancia genética per se no es un buen estimador de la heterosis. La diversidad genética es necesaria para lograr una heterosis significativa pero no suficiente para garantizarla (Cress, 1966). Krystkowiak y colaboradores (2009), evaluaron la relación entre distancias genéticas y morfológicas entre parentales, la ACE y la heterosis en 18 genotipos de trigo y 76 híbridos obtenidos a partir de la cruce de un probador con nueve de las líneas parentales, encontrando que las correlaciones entre distancia genética, ACE y heterosis solo fueron significativas para contenido proteico y propiedades reológicas como absorción de agua, pero no se encontraron correlaciones entre distancia genética, ACE y heterosis para los caracteres morfológicos asociados al rendimiento, tales como peso de mil granos, peso de granos por espiga y peso de granos por planta. En el mismo cultivo, Corbellini y colaboradores (2002) encontraron correlaciones significativas entre la distancia genética basada en marcadores moleculares y la heterosis para rendimiento en grano, pero estas correlaciones resultaron muy bajas para poder tener valor predictivo.

Por su parte, Riaz y colaboradores (2001), utilizaron los marcadores SRAP para determinar la diversidad genética en colza y establecer asociaciones entre distancia genética y heterosis para varios caracteres agronómicos. El análisis de agrupamiento obtenido estuvo en concordancia con los datos genealógicos sobre el origen de los materiales evaluados y su rendimiento agronómico, sin embargo hallaron que solo el rendimiento en granos presentó una fuerte correlación con una mayor distancia genética entre las líneas parentales, mientras que para otras variables como altura de planta, madurez y contenido de aceite, las correlaciones entre distancia genética y heterosis no fueron significativas. Resultados similares han sido reportados en maíz, donde las distancias genéticas entre líneas endocriadas no estuvieron positivamente correlacionadas con las performances de los híbridos, generados a partir de la cruce de estas líneas con probadores, y la heterosis, pese a que en el análisis de conglomerados obtenido a partir de las distancias genéticas provenientes de datos de marcadores AFLP, los agrupamientos de las líneas parentales concordaba con su pedigree (Legesse et al., 2008). Por su parte, Wegary y colaboradores (2013) determinaron la diversidad genética de líneas endocriadas

de maíz utilizando marcadores microsatélites y distancias morfológicas, y estimaron las correlaciones entre las distancias genéticas y morfológicas con las performances de sus híbridos, heterosis y ACE, hallando que el rendimiento en grano de los híbridos así como la precocidad de los mismos se pudieron predecir a partir de las distancias genéticas aunque los valores de correlación no fueron altos, mientras que la correlación entre las distancias genéticas y la heterosis fueron demasiado bajas para tener un valor predictivo. En arroz, Kwon y colaboradores (2008) evaluaron la asociación entre distancia genética de 13 cultivares y el comportamiento de 78 híbridos, obtenidos a partir del cruzamiento de dichos cultivares, para ocho caracteres de importancia agronómica, incluyendo rendimiento, y observaron que las distancias genéticas concordaron con los datos del pedigree de los cultivares, y que se presentó heterosis para todos los caracteres evaluados, siendo rendimiento el carácter donde se alcanzó mayor heterosis, pero que la correlación entre distancia genética y las performances de los híbridos fueron en su mayoría no significativas, lo mismo que para la correlación entre distancias genéticas y heterosis, concluyendo que las distancias genéticas obtenidas a partir de marcadores microsatélites y RAPD no son útiles para predecir combinaciones heteróticas en los cultivares de arroz utilizados y apoyando la idea de que el nivel de correlación entre el rendimiento del híbrido y la divergencia genética depende del germoplasma utilizado.

Como hemos visto, el desarrollo de nuevos cultivares de espárragos es un proceso que lleva mucho tiempo y es costoso económicamente, por lo que tradicionalmente los productores hortícolas de nuestro país, al no disponer de cultivares nacionales, han adquirido semillas de materiales extranjeros y esto ha incrementado más aún los costos de producción. En este sentido, algunos de los híbridos experimentales desarrollados y evaluados en el presente trabajo de tesis, han expresado altos porcentajes de heterosis tanto para rendimiento como para caracteres asociados a la calidad de los turiones y precocidad en producción, constituyendo las bases para el desarrollo de híbridos nacionales de alta performance, adaptados a las condiciones locales de cultivo y competitivos con los materiales extranjeros actualmente difundidos en nuestro país. Como perspectiva, se plantea continuar los análisis de los mejores híbridos experimentales, en particular el material 12x13, en cuanto a la calidad nutricional de los turiones, relacionada con la diversidad y el contenido de compuestos bioactivos y su capacidad antioxidante, la vida poscosecha de los turiones y su relación con la calidad de los mismos, así como también evaluaciones sensoriales que nos brinden información para la inserción y aceptación del producto por parte los consumidores.

5. CONCLUSIONES

- La caracterización fenotípica de las accesiones de espárrago permitió detectar diferencias significativas para la mayoría de las variables estudiadas y distinguir a aquellas accesiones con mejores características asociadas a la productividad.
- Se desarrollaron 43 materiales híbridos a partir de accesiones provenientes de diferentes orígenes, cuya caracterización fenotípica permitió detectar diferencias significativas para todas las variables estudiadas (a excepción de altura de planta, en el set 2) e identificar a aquellos con mejores comportamientos agronómicos.
- Se identificaron valores de heterosis con respecto al mejor padre destacables (mayores al 100%), y posibles de ser aprovechados en un programa de obtención de híbridos. En el mismo sentido, se identificaron combinaciones híbridas de performance similar o superior al testigo comercial Atticus (heterosis útil). Se destacaron los cruzamientos 12x13, 1x12, 10x13 y 4x13.
- Las evaluaciones de ACG y ACE de los materiales en estudio, permitió identificar que los mayores valores para ACE fueron obtenidos en cruzas donde participaron los parentales con mayor ACG, y que estos valores funcionarían como buenos predictores de heterosis. Los materiales que presentan mayores valores de ACG y ACE son quienes expresan los mayores porcentajes de heterosis.
- La caracterización genética de un grupo de accesiones de espárrago mediante marcadores moleculares SRAP, permitió determinar las distancias genéticas entre las mismas y que la base genética del espárrago no es tan estrecha como se consideraba, sin embargo el análisis de cluster no permitió establecer un claro agrupamiento por orígenes geográficos.
- A partir de este trabajo de tesis no es posible confirmar que la distancia genética y la heterosis con respecto al mejor padre para caracteres asociados a la productividad en espárrago se encuentren correlacionadas. Las distancias genéticas obtenidas a partir de marcadores moleculares SRAP, no resultaron útiles para predecir combinaciones heteróticas en el germoplasma utilizado.
- Se identificó al cruzamiento 12x13 como aquel que presentó los mayores valores medios para ocho de las diez variables morfológicas estudiadas superando al testigo comercial, presentó los mayores valores de heterosis útil y alcanzó los mayores valores de ACE para la mayoría de las variables en estudio, así como también sus materiales

parentales (ID 12 e ID 13) alcanzaron altos valores de ACG. Otros materiales destacables y que expresaron heterosis útil fueron los cruzamientos 1x12, 10x13, 4x13.

BIBLIOGRAFÍA

Amato, L.D.; Martin, E.A.; Balaban, D.; Grasso, R.; López-Anido, F.S. 2021a. Asociaciones entre distintos caracteres vegetativos y productivos de espárrago verde. Trabajo – 41° Congreso Argentino de Horticultura - V Simposio de Aromáticas, Medicinales y Condimenticias – Asociación Argentina de Horticultura (ASAHO), miembro de la International Society for Horticultural Science (ISHS). La Plata – 5 al 8 de octubre de 2021. H GMB 07: 252.

Amato, L.D., López-Anido, F.S., Zayas, A.; Martin E.A. 2021b. Genetic resources in asparagus: diversity and relationships in a collection from different origins and breeding status, *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 51:1, 69-80. DOI: 10.1080/01140671.2021.1940217.

Amato, L.D.; Martin, E.A. 2022. Evaluación de compuestos bioactivos en espárrago. Trabajo – VII Jornada de Ciencia y Tecnología – Facultad de Ciencias Agrarias – UNR. I Reunión Argentina – Chile de Ciencias Agrarias. 21 al 24 de junio de 2022.

Amian, L.; Rubio, J.; Castro, P.; Gil, J.; Moreno, R. 2018. Introgression of wild relative *Asparagus* spp. germplasm into the Spanish landrace “Morado de Huétor”. *Acta Hort.*, 1223: 33–38.

Asprelli, P.D., López-Anido, F.; Cointry, E.L. 2005 a. Estimates of genetic variance components in asparagus hybrids in two cultivation systems, *Crop Breed. Appl. Biotech.* 5:134-141.

Asprelli, P.D.; López Anido, F.S.; Cointry, E.L. 2005 b. Caracteres agronómicos en el cultivo de espárrago de diferentes edades y manejos. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 40(1): 47-52.

Balzarini, M.; Di Rienzo, J. 2016. Info-Gen: Software para análisis estadístico de datos genéticos. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.

Bannerot, H.; Derieux, M.; Thevenin, L. and Arnoux, J. 1969. Résultats d' un essai comparative de populations d' asperge. *Annales de l' Amélioration des Plantes*, Paris, 19: 289-324.

Bassam, B.J.; Caetano-Anollés, G.; Gresshoff, P.M. 1991. Fast and sensitive silver staining of DNA in polyacrylamide gels. *Analytical biochemistry*, 196(1), 80-83.

Benson, B.L.; Takatori, F. 1978. Meet U.C. 157. *American Vegetable Grower*. 26(5):8–9.

Benson, B.L.; Mullen, R.J.; Dean, B.B. 1996. Three new green asparagus cultivars; Apollo, Atlas and Grande and one purple cultivar, Purple passion. *Acta Horticulturae*. 415:59–66.

- Benson, B.L. 2002. Update of the world's asparagus production areas, spear utilization and production periods. *Acta Hort.* 589:33-40.
- Bermejo, C.; Cravero, V.P.; Anido, F.L.; Cointry, E.L. 2010. Agronomic and molecular evaluation of recombinant inbred lines (RILs) of lentil. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 2(9), 280-285.
- Boonen, P. 1988. Espárrago: variedades, investigación científica y producción comercial de la semilla en los Países Bajos. *II Jornadas Técnicas del Espárrago*, 267–275.
- Bramardi, S.J.; Bernet, G.P.; Asíns, M.J.; Carbonell, E.A. 2005. Simultaneous Agronomic and Molecular Characterization of Genotypes via the Generalised Procrustes Analysis: An Application to Cucumber. *Crop Sci.* 45:1603-1609.
- Bussell, W.T, Falloon P.G.; Nikoloff, A.S. 1987. Evaluation of Asparagus yield performance after two years' harvesting, *New Zealand Journal of Experimental Agriculture*, 15:2, 205-208, DOI: 10.1080/03015521.1987.10425560.
- Cantaluppi, C.J. 2012. Replicated Asparagus Cultivar Evaluation - 2007-2012. Area Horticulture Agent, Granville and Person Counties, North Carolina Cooperative Extension Service, Oxford, NC, 27565.
- Cardoso, D.L.; Nunes, L.; Maria, C.; De Macêdo, P. 2014. Heterosis in papaya: Inter and intragroup analysis. *Rev. Bras. de Fruticult.* 1, 610–619.
- Caruso, M.; Federici, C.T.; Roose, M.L. 2008. EST–SSR markers for asparagus genetic diversity evaluation and cultivar identification. *Mol Breeding.* 21:195–204.
- Caruso M, Federici CT, Roose ML. 2008. EST–SSR markers for asparagus genetic diversity evaluation and cultivar identification. *Mol Breeding.* 21:195–204.
- Castagnino, A.M.; Diaz, K.; Rosini, M.B. 2009. Manual de cultivos hortícolas innovadores. Editorial Hemisferio Sur, S. A. Buenos Aires, ARG. 10: 111-137.
- Castro, P.; Gil, J.; Cabrera, A.; Moreno, R. 2013. Assessment of genetic diversity and phylogenetic relationships in Asparagus species related to *Asparagus officinalis*. *Genet Resour Crop Evol.* 60:1275–1288.
- Cattivello, C.E. 2002. Della Donna, L'Asparago bianco, *Bioagricoltura.* 33-34.
- Chen, H.; Guo, A.; Wang, J.; Gao, J.; Zhang, S.; Zheng, J.; Huang, X.; Xi, J.; Yi, K. 2020. Evaluation of genetic diversity within asparagus germplasm based on morphological traits and ISSR markers. *Physiol Mol Biol Plants.* 26:305–315. doi: 10.1007/s12298-019-00738-5

- Cheres, M.T.; Miller, J.F.; Crane, J.M.; Knapp, S.J. 2000. Genetic distance as a predictor of heterosis and hybrid performance within and between heterotic groups in sunflower. *Theor Appl Genet.* Springer-Verlag. 100:889–894.
- Clifford, H.T.; Conran, J.G. 1987. *Asparagaceae*. Flora of Australia. Australian Government of Public Service, Canberra, 159–164.
- Cointry, E.L.; López-Anido, F.S.; Gatti, I.; García, S.M.; Firpo, I.T. 1996. Comparative study of morphological and productive characters in blanched asparagus populations. *Asparagus Research Newsletter*, Palmerston North, 13(1/2):30-34.
- Cointry, E.; López-Anido, F.S.; Gatti, I.; Cravero, V.P.; Firpo, I.T.; García, S.M. 2000. Early selection of elite plants in asparagus. *Revista Bragantia* Vol 59 (1): 21-26.
- Collard, B.C.Y.; Jahufer, M.Z.Z.; Brouwer, J.B. et al. 2005. An introduction to markers, quantitative trait loci (QTL) mapping and marker-assisted selection for crop improvement: The basic concepts. *Euphytica* 142, 169–196. <https://doi.org/10.1007/s10681-005-1681-5>
- Corbellini, M.; Perenzin, M.; Accerbi, M.; Vaccino, P.; Borghi, B. 2002. Genetic diversity in bread wheat, as revealed by coefficient of parentage and molecular markers, and its relationship to hybrid performance. *Euphytica* 123:273–285. doi:10.1023/A:1014946018765.
- Corriols, L. 1984. Are asparagus all-male hybrids attractive?. *Asp. Res. News.* 2(1):16-19.
- Corporación del Mercado Central de Buenos Aires. 2018. Boletín de Frutas y Hortalizas/Convenio INTA- CMCBA Nº 85. Noviembre 2018. www.mercadocentral.gob.ar.
- Cravero V.; Martín, E.; Cointry, E. 2007. Genetic Diversity in *Cynara cardunculus* Determined by SRAP Markers. *J. Amer.Soc. Hort. Sci.* 132(2):208-212.
- Cress, C.E. 1966. Heterosis of the hybrid related to gene frequency differences between two populations. *Genetics* 53:269–274.
- Cubero, J.I. 2003. *El libro de agricultura de Al-Awan: Edición y comentario sobre la traducción de Banqueri*. Ed. Junta de Andalucía.
- Dehghani, H; Moghaddam, M.; Bihamta, M.R.; Sabaghnia, N.; Mohammadi, R. 2013. Biplot analysis of diallel data in strip rust of wheat. *Australasian Plant Pathol.* 42:601–608. DOI 10.1007/s13313-013-0224-0.
- Díaz, K.E., Castagnino, A.M. (*Ex aequo*), Rosini, M.B.; Favazzo, M.E. 2022. Harinas de hortalizas como estrategia de aprovechamiento y valorización– espárragos. Parte II.

Particularidades de la agroindustria de II gama de espárrago: harinas y polvos saborizantes, estudios preliminares – Review. Horticultura Argentina 41 (104): 153-174.

Dice, L.R. 1945. Measures of the Amount of Ecologic Association Between Species. Ecology 26 (3): 297-302.

Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; Gonzalez, L.; Tablada, M.; Robledo, C.W. 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Donoso, P. (3 de septiembre de 2021). Página web InterNos. [Entrevista en noticia; *Espárragos: animarse a probar*]. <https://www.revistainternos.com.ar/2021/09/esparragos-animarse-a-probar/>

Doyle, J.J.; Doyle, J.L. 1990. Isolation of plant DNA from fresh leaf tissue. Focus. 12:13–15.

Ellison, J.H. 1986. Asparagus Breeding. In: Breeding Vegetable Crops, M. J. Bassett, ed., AVI Publishing Co., Westport, 521-569.

Ellison, J. H.; Scheer, D. F. 1959. Yield related to brush vigor in asparagus, Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 73:339-344.

Ellison, J.H.; Scheer, D.F.; Wagner, J. J. 1960. Asparagus yield as related to plant vigor, earliness and sex, Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 75:411-415.

Esposito, M.A.; Martin, E.A.; Cravero, V.P.; Cointry, E. 2007. Characterization of pea accessions by SRAP's markers. Scientia horticulturae, 113(4), 329-335.

Falavigna, A.; Casali, P.E.; Battaglia, A. 1999. Achievement of asparagus breeding in Italy. Acta Hort 479:67–74.

Fallon, P.G.; Nikoloff, A.S. 1986. Asparagus: value of individual plant yield and fern characteristics as selection criteria. New Zealand Journal of Experimental Agriculture, Lower Hutt, 14:417-420.

FAO. 2022. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Estadísticas mundiales de producción.

Fehér, E. 1992. Asparagus. Akadémiai Kiadó, Budapest. 161.

Fehr, W.R. 1987. Principles of Cultivar Development. Theory and Technique. McGrawHill Inc.

- Ferriol, M.; Pico, B.; de Cordova, P.F.; Nuez, F. 2004. Molecular diversity of a germplasm collection of squash (*Cucurbita moschata*) determined by SRAP and AFLP markers. *Crop Science*, 44(2), 653-664.
- Franco, M. C.; Cassini, S.T.; Rodrigues-Oliveira, V.; Vieira, C.; Tsai, S.M.; Cruz, C.D. 2001. Combining ability for nodulation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes from Andean and Middle American gene pools. *Euphytica* 118, 265–270.
- Fu, D.; Xiao, M.; Hayward, A.; Fu, Y.; Liu, G.; Jiang, G.; Zhang, H. 2014. Utilization of crop heterosis: a review. *Euphytica* 197:161–173. <https://doi.org/10.1007/s10681-014-1103-7>
- Fuentes Alventosa, J.M. 2010. Caracterización de componentes bioactivos del espárrago verde: obtención de ingredientes funcionales a partir de los subproductos generados durante su transformación industrial. ISBN-13: 978-84-692-9388-1 D.L.: CO-192-2010. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba.
- Garcia, V.; Castro, P.; Turbet-Delof, M.; Gil, J.; Moreno, R. 2021. Development and diversity analysis of an hexaploid pre-breeding asparagus population with introgressions from wild relative species. *Sci. Hortic.* 2021, 287, 110273.
- Gatti, I.; Cravero, V.P.; López-Anido, F.S.; Cointry, E.L. 2000. Evaluación de siete poblaciones de espárrago (*Asparagus officinalis* L.). *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 35(6):1151-1157.
- Gatti, I.; López-Anido, F.; Picardi, L.; Cointry, E. 2003. Selección de progenitores en espárrago. *Horticultura Brasileira*, Brasília, 21(2): 162-165.
- Gatti, I.; López Anido, F.; Cravero, V.; Asprelli, P.; Cointry, E. 2005. Heritability and expected selection response for yield traits in blanched asparagus. *Gen Mol Res.* 4:67–73.
- Gatti, I.; Cravero, V.P.; Asprelli, P.; López-Anido, F.S.; García, S.M.; Firpo, I.T.; Cointry, E.L. 2007. Espárrago (*Asparagus officinalis* L.): algunos aspectos de su mejora Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario. Campo Experimental J.F. Villarino. CC 14 - (S2125ZAA) Zavalla. Santa Fe. Argentina. *Avances en Horticultura* 5. Edición on-line.
- Geoffriau, E.; Denoue, D.; Rameau, C. 1992. Assessment of genetic variation among asparagus (*Asparagus officinalis* L.) populations and cultivars: agromorphological and isozymic data. *Euphytica* 61:169- 179.
- Golkar, P.; Shahbazi, E.; Nouraein, M. 2017. Combining ability x environment interaction and genetic analysis for agronomic traits in safflower (*Carthamus tinctorius* L.): biplot as a tool for diallel data. *Acta agriculturae Slovenica*, 109(2):.229–240. doi: 10.14720/aas.2017.109.2.07.

- González A., M.I.; Del Pozo, L.A. 1999. El cultivo del Espárrago, Capítulo IV. ISSN 0717-4829.
- Gonzales-Castañón, M.L. 1990. Evaluation of male and female asparagus plants. Interest in obtaining male dioecious hybrids. *Acta Horticulturae*, Leuven, 271:83-89.
- Gower, J.C. 1975. Generalized procrustes analysis. *Psychometrika* 40:33-51.
- Griffing, B., 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust J BiolSci* 9:463–493.
- Guindón, M.F.; Martín, E.A.; Zayas, A.; Cointry, E.L.; Cravero, V.P. 2016. Development and validation of SRAP markers for linkage mapping in *Pisum sativum* L. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 16: 182-188.
- Guzmán, M.; Díaz, D.; Ramis, C.; Figueroa-Ruiz, R.; Jiménez, R. 2017. Estimación de la aptitud combinatoria y heterosis en híbridos no convencionales de maíz con alto contenido de proteína. *Bioagro* 29(3): 175-184.
- Hallauer, A.R.; Miranda Filho, J.B. 1988. *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. 2nd edn. Iowa State University Press, Ames.
- Hallauer, A. 1990. Methods used in developing maize inbreds. *Maydica*. 35: 1-16.
- Hallauer, A.R.; Carena, M.J.; Miranda Filho, J.B. 2010. *Quantitative genetics in maize breeding*. 3rd Ed., Springer, New York, NY.
- Huanuqueño Coca, E.; Casas Díaz, A.; Jiménez Dávalos, J. 2019. Heterosis útil y caracteres asociados al rendimiento en híbridos de maíz amarillo duro bajo condiciones de secano en Tarapoto. *Anales Científicos* 80 (1): 259-268. ISSN 2519-7398 (Versión electrónica). <http://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/acu/index>
- Ibrahim, M.A.M; Ghareeb, Z.E. 2020. Using biplot analysis of f1 faba bean diallel data to predict combining ability. *Egyptian Journal of Plant Breeding*. 24(2):251-271. DOI: 10.12816/ejpb.2020.170856.
- Ito, P.J.; Currence, T.T. 1965. Inbreeding and heterosis in asparagus. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 86:338-346.
- Kanno, A.; Yokoyama, J. 2011. Asparagus. In: Kole C (ed) *Wild crop relatives: genomic and breeding resources*. Springer, Berlin, 23–42.
- Kenga, R.; Alabi, S.; Gupta, S. 2004. Combining ability studies in tropical sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Field Crops Res.* 88, 251–260.

- Kirschenbilder, E.; Castagnino, A.M.; Díaz, K.E.; Rosini, M.B.; Falavigna, A. 2015. Cadena espárrago: Producción de diferentes genotipos en su quinto año y comportamiento en poscosecha. *Agron. Mesoam.* 26(1):99-109. ISSN 2215-3608 doi: 10.15517/am.v26i1.16933.
- Knaflewski, M. 1996. Genealogy of asparagus cultivars. *Acta Horticulturae.* 415:87–92.
- Kobus-Cisowska, J.; Szymanowska, D.; Szczepaniak, O.M.; Gramza-Michałowska, A.; Kmiecik, D.; Kulczyński, B.; Szulc, P.; Górnaś, P. 2019. Composition of polyphenols of asparagus Spears (*Asparagus officinalis*) and their antioxidant potential. ISSN 1678-4596. *FOOD TECHNOLOGY. Cienc. Rural* 49 (4) <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180863>
- Krarup, C.; Contreras, S. 2002. Elongación y ramificación de turiones de espárrago durante una cosecha primaveral. *Agricultura técnica (Chile)* 6(2):191-200.
- Krarup, C.; Krarup, A. 2002. Potencialidad productiva del espárrago en Chile. *Agronomía y Forestal UC.* 14 (4): 9-14.
- Krystkowiak, K., Adamski, T., Surma, M.; Kaczmarek, Z. 2009. Relationship between phenotypic and genetic diversity of parental genotypes and the specific combining ability and heterosis effects in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica* 165, 419–434. <https://doi.org/10.1007/s10681-008-9761-y>.
- Kwon, S.J.; Ha, W.G.; Hwang, H.G.; Yang, S.J.; Choi, H.C.; Moon, H.P.; Ahn, S.N. 2008. Relationship between heterosis and genetic divergence in 'Tongil'-type rice. *Plant Breeding* 121, 487—492. ISSN 0179-9541. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0523.2002.00760.x>
- Labroo M.R.; Studer A.J.; Rutkoski J.E. 2021. Heterosis and Hybrid Crop Breeding: A Multidisciplinary Review. Department of Crop Sciences, University of Illinois at Urbana–Champaign, Urbana, IL, United States. *Front. Genet.* 12:643761. doi:10.3389/fgene.2021.643761.
- Laude, T.P.; Carena, M.J. 2015. Genetic diversity and heterotic grouping of tropical and temperate maize populations adapted to the northern U.S. Corn Belt. *Euphytica* 204:661–677.
- Legesse, B.W.; Myburg, A.A.; Pixley, K.V.; Twumasi-Afriyie, S.; Botha, A.M. 2008. Relationship between hybrid performance and AFLP based genetic distance in highland maize inbred lines. *Euphytica* 162, 313–323. <https://doi.org/10.1007/s10681-007-9503-6>
- Ley, J.P.; Monget, M.; Thevenin, L. 1976. L' amélioration de l' asperge (*Asparagus officinalis* L.): application conjointe de méthodes statistiques descriptives et inférentielles a l' utilisation

raisonnée des différences de production entre plantes mâles et femelles. Annales de l'Amélioration des Plantes, Paris, 26(4):675-716.

Li, G.; Quiros, C.F. 2001. Sequence-related amplified polymorphism (SRAP), a new marker system based on a simple PCR reaction: its application to mapping and gene tagging in *Brassica*. Theor. And Appl. Genet. 103:455-461.

Li, Xin; Li, Xianran; Fridman, E.; Tesso, T.T.; Yu, J. 2015. Dissecting repulsion linkage in the dwarfing gene *Dw3* region for sorghum plant height provides insights into heterosis. Proceedings of the National Academy of Sciences. 11823-11828. 112. 38 – 26351684. <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.1509229112>

Li, S.; Zhang, G.; Li, X.; Wang, L.; Yuan, J.; Deng, C.; Gao, W. 2016. Genome-wide identification and validation of simple sequence repeats (SSRs) from *Asparagus officinalis*. Mol Cell Probes. 30 (3):153–160.

Lin, Z.; Zhang, X.; Nie, Y.; He, D.; Wu, M. 2003. Construction of a genetic linkage map for cotton based on SRAP. Chinese Science Bulletin, 48(19), 2064-2068.

López-Anido, F.S.; Cointry, E. 2008. Asparagus - Vegetables II: Fabaceae, Liliaceae, Umbelliferae, and Solanaceae. J. Prohens and F. Nuez (eds.) Series: Handbook of Plant Breeding. Springer, New York. 87-119.

López-Anido, F.S.; Cravero, V.; Asprelli, P.; Firpo, T.; García, S.M.; Cointry, E. 2003. Heterotic patterns in hybrids involving cultivar-groups of summer squash, *Cucurbita pepo* L.

Lužný, J. 1979. The history of asparagus as a vegetable, the tradition of its growing in Czechoslovakia (CSSR) and the prospect of its further propagation and breeding. Reuther G (ed) Eucarpia, section vegetables: proceedings of the 5th International Asparagus-Symposium, 28th August–1st September, 82–86.

Malik, S. I.; Malik, H. N.; Minhas, N. M.; Munir, M. 2004. General and specific combining ability studies in maize diallel crosses. Int. J. Agri. Biol, 6(5), 856-859.

Marina, J.; Castagnino, A.M.; Díaz, K.E.; Sastre Vázquez, P.; Guisolis, A. 2010. Cadena Agroalimentaria espárrago: alternativas tradicionales e innovadoras para optimizar la productividad en su etapa adulta. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. ISSN: 2011-2173. 4(1):55 – 66.

Martin, E.; Cravero, V.; Espósito, M.A.; López, A.; Milanesi, L.; Cointry, E. 2008. Identification of markers linked to agronomic traits in globe artichoke. Australian Journal of Crop Science, 1(2), 43-46.

- Martin, E. 2012. Tesis doctoral: “Construcción de un mapa de ligamiento en *Cynara cardunculus* L. basado en marcadores moleculares y localización de genes de interés agronómico”. Facultad de Ciencias Agrarias, UNR.
- Martin, E.; Acquaviva, E.; Cravero, V.; Portis, E.; Scaglione, D.; Cointry, E. 2013. New genetic maps for globe artichoke and wild cardoon and their alignment with a reference SSR based consensus map of *Cynara cardunculus*. *Mol. Breeding* 32: 177-187.
- Mayor, M.L.; Nestares, G.; Zorzoli, R.; Picardi, L.A. 2006. Analysis for combining ability in sunflower organogenesis-related traits. *Australian Journal of Agricultural Research* 57, 1123-1129.
- Mc-Collum, G.D. 1988. Asp 8271 and Asp 8284 *Asparagus* germplasm. *HortScience* 23:641.
- Mercati, F.; Riccardi, P.; Leebens-Mack, J.; Abenavoli, M.R.; Falavigna, A.; Sunseri, F. 2013. Single nucleotide polymorphism isolated from a novel EST dataset in garden asparagus (*Asparagus officinalis* L.). *Plant Sci.* 203-204:115–123.
- Moll, R.H.; Salhuana, W.S.; Robinson, H.F. 1962. Heterosis and Genetic Diversity in varieties of Maize. *Crop Science*, 40, 1588-1595.
- Moon, D.M. 1976. Yield potential of *Asparagus officinalis* L. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture*, Lower Hutt, 4:435-438.
- Moreno, R.; Espejo, J.A.; Cabrera, A.; Gil, J. 2008. Origin of tetraploid cultivated asparagus landraces inferred from nuclear ribosomal DNA internal transcribed spacers’ polymorphisms. *Ann. Appl. Biol.*, 153:233–241.
- Moreno, R.; Espejo, J.A.; Gil, J. 2010. Development of triploid hybrids in asparagus breeding employing a tetraploid landrace. *Euphytica*. 173:369–375. DOI 10.1007/s10681-009-0103-5.
- Moreno, R.; Castro, P.; Vrána, J.; Kubaláková, M.; Cápál, P.; García, V.; Gil, J.; Millán, T.; Doležel, J. 2018. Integration of genetic and cytogenetic maps and identification of sex chromosome in garden asparagus (*Asparagus officinalis* L.). *Front Plant Sci.* 9:1068.
- Moreno-Pinel, R.; Castro-López, P.; Die-Ramón, J.V.; Gil-Ligero, J. 2021. *Asparagus* (*Asparagus officinalis* L.) Breeding. *Advances in Plant Breeding Strategies: Vegetable Crops*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66961-4_12 .
- Mousavizadeh, S.J.; Gil, J.; Castro, P.; Hassandokht, M.R.; Moreno, R. 2021. Genetic diversity and phylogenetic analysis in Asian and European *Asparagus* subgenus species. *Genet Resour Crop Evol.* Springer. <https://doi.org/10.1007/s10722-021-01262-w>

- Muñoz, S.; Espósito, M.A.; Cravero, V.; García, S.; López-Anido, F.; Cointry, E. 2006. Obtención de plantas a partir de anteras de espárrago (*Asparagus officinalis* L.). Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias - UNR |6:9:039/ 046.
- Niazian, M.; Amiri, R.; Mortazavian, S.M.M.; Rajabi, A.; Orazizadeh, M.R. 2013. Analysis of Resistance to Cercospora Leaf Spot and Bolting in Sugar Beet as Winter Crop Using Griffing's Diallel Method and GGE Biplot. Journal of Sugar Beet Research; 50(1/2): 37-57.
- Olmata, S.L. 2020. Las principales tendencias alimentaria para 2021 son muy saludables. Olmata. <https://olmatasl.com/articulos/principales-tendencias-alimentarias-saludables-2021/>
- Pandita, P.N.; Bhan, M.K. 1990. Variability and correlation in asparagus *Asparagus officinalis*. Indian Journal of Agricultural Sciences, 60(7): 487-488.
- Prakash, R.; Ganesamurthy, K.; Nirmalakumari, A.; Nagarajan, P. 2010. Heterosis for fodder yield in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). Electronic Journal of Plant Breeding, 1(3): 319-327.
- Rahman, M.; McVetty, P.B.; Li, G. 2007. Development of SRAP, SNP and Multiplexed SCAR molecular markers for the major seed coat color gene in *Brassica rapa* L. Theoretical and Applied Genetics, 115(8):1101-1107.
- Rahman, M.M.; Govindarajulu, Z. 1997. A modification of the test of Shapiro and Wilk for normality. Journal of Applied Statistics, 24(2):219-236.
- Rameau, C. 1990. Fifteen years of experiments on asparagus F1 hybrids: synthesis, evaluation of homozygous parents and application to the french breeding programme. Acta Horticulturae, 271:47–54. doi:10.17660/actahortic.1990.271.4.
- Randall, T.E.; Rick, C.M. 1945. A cytogenetic study of polyembryony in *Asparagus officinalis* L. Amer J Bot 32:560–569.
- Riaz, A.; Li, G.; Queresh, Z.; Swatt, M.S.; Quiros, C.F. 2001. Genetic diversity of oilseed Brassica inbred lines based on Sequence-Related Amplified Polymorphism and its relation to hybrid performance. Plant Breed 120:411–415. doi:10.1046/j.1439-0523.2001.00636.x
- Rick, C.M.; Hanna, G.C. 1943. Determination of sex in *Asparagus officinalis* L., .Amer. J. Bot. 30:711-714.
- Rivera, I.; Rodríguez, J.P. 1999. Perfil de Mercado: espárrago. Documento de trabajo N° 5. ISSN 1514-0555. www.inta.gov.ar/ies

- RStudio Team. 2020. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
- Ruiz, J.J.; Pico, B.; Li, G.; D'Antonio, V.; Falk, B.; Quiros, C.F. 2001. Identification of markers linked to a celery mosaic virus resistance gene in celery. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 126(4): 432-435.
- SAGPyA. Secretaría de Agricultura, Ganadería Pesca y Alimentos. 2007. Protocolo de calidad para espárrago fresco. RESOLUCIÓN SAGPyA N° 249/2007. http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/valorAr/sello/SAA010_Esparrago_v08.pdf
- Salem, K.F.M.; Alghuthaymi, M.A.; Elabd, A.B.; Elabsawy, E.A.; Mierah, H.H. 2022. Prediction of Heterosis for Agronomic Traits in Half-Diallel Cross of Rice (*Oryza sativa* L.) under Drought Stress Using Microsatellite Markers. *Plants* 2022, 11, 1532. <https://doi.org/10.3390/plants11121532>.
- Saremirad, A.; Abbasi, S.; Mostafavi, K. 2021. Study of Genetic Structure of Grain Yield and Some Agro-Morphological Characteristics in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) using Diallel Analysis and GGE Biplot Method. *Journal of Crop Breeding* 13(39):130-139.
- SAS, 2001. Versión 8.2 SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
- Seedhaolic. 2022. <https://www.seedaholic.com>. Cloghbrack, Clonbur, Galway, Ireland.
- Sergio, L.; Boari, F.; Di Venere, D.; Gonnella, M.; Cantore, V.; Renna, M. 2021. Quality Evaluation of Wild and Cultivated Asparagus: A Comparison between Raw and Steamed Spears. *Agriculture*, 11, 1213. <https://doi.org/10.3390/agriculture11121213>
- Shull, G.H. 1948. What Is "Heterosis"? *Genetics*, 33, 439-446.
- Singh, A.; Pan, R.; Bhavana, P. 2013. Heterosis and combining ability analysis in bittergourd (*Momordica charantia* L.). *Bioscan* 8:1533–1536.
- Sinton, S.M.; Wilson, D.R. 1999. Comparative performance of male and female plants during the annual growth cycle of a dioecious asparagus cultivar. *Acta Hort.* 479:347-356 DOI: 10.17660/ActaHortic.1999.479.48 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1999.479.48>
- Skiebe, K.; Stein, M.; Gottwald, J.; Wolterstorff, B. 1991. Breeding of polyploid asparagus (*Asparagus officinalis* L.). *Plant Breed.* 106:99–106.
- Sneep, J. 1953. The significance of andromonoecy for the breeding of *Asparagus officinalis* L. *Euphytica* 2(2):89–95.

- Sprague, G.F.; Tatum, L.A. 1942. General versus specific combining ability in single crosses of corn. *J. Amer. Soc. Agron.* 34:923-932.
- Štajner, N.; Bohanec, B.; Javornik, B. 2002. Genetic variability of economically important *Asparagus* species as revealed by genome size analysis and rDNA ITS polymorphisms. *Plant Science* 162: 931-937.
- Stone, N.K.; Roose, M.L. 2002. Effective field evaluation of asparagus hybrids using reduced data collection, *Acta Hort.* 589:103-109.
- Sturtevant, E.L. 1890. History of garden vegetables. *Amer. Natur.* 24:719-744.
- Sun, Z.; Wang, Z.; Tu, J.; Zhang, J.; Yu, F.; McVetty, P.B.; Li, G. 2007. An ultradense genetic recombination map for *Brassica napus*, consisting of 13551 SRAP markers. *Theoretical and Applied Genetics*, 114(8):1305-1317.
- Suyadi, S.; Saptadi, D.; Sugiharto, A.N. 2021. Combining ability of Indonesian tropical maize in two different seasons. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 43(2): 347–357. <https://doi.org/10.17503/agrivita.v43i2.2915>
- Tamta, S.; Singh, J.P. 2018. Heterosis in Tomato for Growth and Yield Traits, *International Journal of Vegetable Science*, 24(2):169-179, DOI: 10.1080/19315260.2017.1407857.
- Tesfaye, S.; Sime, B. 2021. Heterosis of Highland Maize (*Zea mays* L) Hybrids for Grain Yield and Yield Related Components. *EAS J Biotechnol Genet*, 3(2):47-52. DOI: 10.36349/easjbg.2021.v03i02.003.
- Thevenin, L. 1967. Les problèmes d' amélioration chez *Asparagus officinalis* L. I: Biologie et Amélioration. *Annales de l' Amélioration des Plantes*, Paris, 17(1):33-66.
- Van Cutsem, P.; Du Jardin, P.; Boutte, C.; Beauwens, T.; Jacquemin, S.; Vekemans, X. 2003. Distinction between cultivated and wild chicory gene pools using AFLP markers. *Theor Appl Genet.* 107:713–718.
- Vargas, M.; Crossa, J. 2000. 'The AMMI analysis and the graph of the Biplot in SAS.' 26–31. (CIMMYT, Int.: Mexico).
- Vekariya, R.D.; Nimbale, S.; Batheja, A.; Sangwan, R.S.; Mandhania, S. 2017. Combining ability and gene action studies on seed cotton yield and its related traits in diploid cotton (*Gossypium arboreum* L.). *Electronic Journal of Plant Breeding*, 8(4): 1159-1168. ISSN 0975-928X. DOI: 10.5958/0975-928X.2017.00168.5

- Vera Vega, M.A. 2021. Tesis: Comportamiento de tres cultivares de espárrago (*Asparagus Officinalis* L.) al cultivo de anteras *in vitro*. Maestría en Mejoramiento Genético de plantas. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima- Perú.
- Vilmorin-Andrieux, M.M.; Thomson, W.P. 1920. The vegetable garden; illustrations, descriptions, and culture of the garden vegetables of cold and temperate climates. New York: E.P. Dutton and company; 805.
- Wagaw, K.; Tadesse, T. 2020. Combining Ability and Heterosis of Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) Hybrids for Grain and Biomass Yield. American Journal of Plant Sciences, 11:2155-2171. <https://doi.org/10.4236/ajps.2020.1112151>
- Wegary, D.; Vivek, B.; Labuschagne, M. 2013. Association of parental genetic distance with heterosis and specific combining ability in quality protein maize. Euphytica 191:205–216. <https://doi.org/10.1007/s10681-012-0757-2>.
- Wehner, T.C. 1999. Heterosis in Vegetable Crops, Chapter 36, The Genetics and Exploitation of Heterosis in Crops. ASA-CSSA-SSSA, 667 South Segoe Roas, Madison, WI 53711, USA.
- Wolyn, D. J. 1993. Estimates of marketable yield in asparagus using fern vigor index and a minimum number of daily harvest records, J. Amer. Soc. Hort. Sci. 118:558-561.
- Yan, W.; A. Hunt, 2002. Biplot analysis of diallel data. CropSci 42: 21–30.
- Yaseen, M.; Eskridge, K. 2020. Introduction to DiallelAnalysisR.
- Yu, D.; Xingfang, G.; Zhang, S.; Dong, S.; Miao, H.; Gebretsadik, K.; Bo, K. 2021. Molecular basis of heterosis and related breeding strategies reveal its importance in vegetable breeding. Horticulture Research 8:120. <https://doi.org/10.1038/s41438-021-00552-9>
- Zayas, A.; Martin, E.; Bianchi, M.; López-Anido, F.; Cravero, V. 2020. “Elucidating the genetic male sterility in *Cynara cardunculus* L. through a BSA approach. Identification of associated molecular markers.” Euphytica. 216: 8.<https://doi.org/10.1007/s10681-019-2531-1>

ANEXO 1

Normalidad de los datos

Tabla 1.A1 Normalidad de los datos. Shapiro Wilks (modificado)

Variable	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RE_Peso turión	0,99	0,98	0,5201
RE_Calibre medio turión	1	0,98	0,1955
RE_Calidad turión	1	0,98	0,5163
RE_Rendimiento total	0,98	0,98	0,3516
RE_Rendimiento comercial	0,98	0,97	0,1134
RE_n° turiones totales/planta	0,98	0,98	0,1143
RE_n° turiones comerciales/planta	0,99	0,97	0,1125
RE_Altura a la 1° ramificación	0,99	0,98	0,2919
RE_Altura de planta	0,98	0,98	0,3753
RE_Precocidad	0,98	0,98	0,1570

ANEXO 2

Sexado de las plantas

Tabla 1.A2 Porcentaje de plantas femeninas y masculinas por material

Cultivar	% Plantas femeninas	% Plantas masculinas
1 bulk	48%	52%
1 x 10	48%	52%
1 x 12	54%	46%
1 x 13	45%	55%
1 x 20	48%	52%
1 x 3	43%	58%
1 x 6	48%	52%
10 bulk	49%	51%
10 x 12	49%	51%
10 x 13	50%	50%
10 x 20	57%	43%
11 bulk	45%	55%
11 x 13	44%	56%
11 x 20	48%	52%
12 bulk	49%	51%
12 x 13	43%	57%
13 bulk	51%	49%
13 x 20	41%	59%
15 bulk	43%	57%
16 bulk	51%	49%
17 bulk	45%	55%
2 bulk	51%	49%
20 bulk	53%	47%
3 bulk	46%	54%
3 x 10	56%	44%
3 x 12	40%	60%
3 x 13	43%	57%
3 x 20	46%	54%
3 x 6	49%	51%

4 bulk	49%	51%
4 x 11	47%	53%
4 x 13	44%	56%
4 x 20	48%	52%
4 x 5	48%	52%
4 x 6	54%	46%
4 x 7	44%	56%
4 x 8	50%	50%
5 bulk	50%	50%
5 x 11	50%	50%
5 x 13	54%	46%
5 x 20	40%	60%
5 x 6	57%	43%
5 x 7	44%	56%
5 x 8	44%	56%
6 bulk	44%	56%
6 x 10	56%	44%
6 x 11	40%	60%
6 x 12	58%	43%
6 x 13	57%	43%
6 x 20	49%	51%
6 x 7	42%	58%
7 bulk	43%	57%
7 x 11	48%	52%
7 x 13	59%	41%
7 x 20	45%	55%
7 x 8	55%	55%
8 bulk	42%	58%
8 x 11	55%	45%
8 x 20	50%	50%

ANEXO 3

Análisis de la variancia por Set dialélico, salidas del programa estadístico SAS (2001).

SET 1

Tabla 1.A3 Peso del turión

Fuente de variación	GL	SM	CM	F	Pr > F
Bloques	2	0,00000397	0,00000199	1,97	0,1491
Materiales	33	0,00013240	0,00000401	3,98	<,0001
Cruzamientos	25	0,00009540	0,00000382	3,78	<,0001
Parentales	7	0,00003650	0,00000521	5,16	<,0001
Cruzamientos vs Parentales	1	7,939702 10 ⁻⁸	7,939702 10 ⁻⁸	0,08	0,7800
Error	54	0,00005438	0,00000101		

R² = 0,714904 CV error = 19,88242

Tabla 2.A3 Diámetro del turión

Fuente de variación	GL	SM	CM	F	Pr > F
Bloques	2	0,46114292	0,23057146	0,58	0,5624
Materiales	33	52,85514889	1,60167118	4,04	<,0001
Cruzamientos	25	36,47780672	1,45911227	3,68	<,0001
Parentales	7	16,26811522	2,07919375	5,25	<,0001
Cruzamientos vs Parentales	1	0,05377857	0,05377857	0,14	0,7140
Error	54	21,40175708	0,39632883		

R² = 0,713566 CV error = 10,88260

Tabla 3.A3 Calidad

Fuente de variación	GL	SM	CM	F	Pr > F
Bloques	2	0,07726129	0,03863065	0,89	0,4168
Materiales	33	10,46481222	0,31711552	7,30	<,0001
Cruzamientos	25	6,84487512	0,27379500	6,30	<,0001
Parentales	7	3,45577391	0,49368199	11,37	<,0001
Cruzamientos vs Parentales	1	0,27583397	0,27583397	6,35	0,0147
Error	54	2,34530538	0,04343158	6,30	

$R^2 = 0,818015$ CV error = 7,411475

Tabla 4.A3 Rendimiento total

Fuente de variación	GL	SM	CM	F	Pr > F
Bloques	2	0,36830532	0,18415266	7,43	0,0014
Materiales	33	3,92474610	0,11893170	4,80	<,0001
Cruzamientos	25	2,87973034	0,11518921	4,64	<,0001
Parentales	7	0,87490897	0,12498700	5,04	<,0001
Cruzamientos vs Parentales	1	0,19912641	0,19912641	8,04	0,0064
Error	54	1,33793115	0,02477650		

$R^2 = 0,762398$ CV error = 24,51274

Tabla 5.A3 Rendimiento comercial

Fuente de variación	GL	SM	CM	F	Pr > F
Bloques	2	0,14308535	0,07154267	5,97	0,0046
Materiales	33	1,58628850	0,04806935	4,01	<,0001
Cruzamientos	25	1,25495139	0,05019806	4,18	<,0001
Parentales	7	0,33094482	0,04727783	3,94	0,002
Cruzamientos vs Parentales	1	0,00940934	0,00940934	0,78	0,3796
Error	54	0,64751828	0,01199108		

$R^2 = 0,727578$ CV error = 9,467951

Tabla 6.A3 Número de turiones totales

Fuente de variación	GL	SM	CM	F	Pr > F
Bloques	2	26,0157850	13,0078925	4,11	0,0219
Materiales	33	322,8654526	9,7838016	3,09	0,0001
Cruzamientos	25	200,4347966	8,0173919	2,53	0,002
Parentales	7	66,08053098	9,44007585	2,98	0,01
Cruzamientos vs Parentales	1	41,09292185	41,09292185	12,97	0,0007
Error	54	171,0471641	3,1675401		

$R^2 = 0,671018$ CV error = 19,68501

Tabla 7.A3 Número de turiones comerciales

Fuente de variación	GL	SM	CM	F	Pr > F
Bloques	2	2,81210810	1,40605405	5,89	0,0048
Materiales	33	33,41958552	1,01271471	4,24	<,0001
Cruzamientos	25	25,82359176	1,03294367	4,33	<,0001
Parentales	7	7,57381978	1,08197425	4,53	<,0001
Cruzamientos vs Parentales	1	0,20208654	0,20208654	0,85	0,3615
Error	54	12,88453794	0,23860255		

$R^2 = 0,737673$ CV error = 27,27151

Tabla 8.A3 Altura a la primera ramificación

Fuente de variación	GL	SM	CM	F	Pr > F
Bloques	2	125,007755	62,503878	3,33	0,0432
Materiales	33	1794,912290	54,391282	2,90	0,0003
Cruzamientos	25	940,8958080	37,6358323	2,01	0,016
Parentales	7	851,6374580	121,6624940	6,48	<,0001
Cruzamientos vs Parentales	1	3,71257028	3,71257028	3,71257028	0,6582
Error	54	1012,934645	18,758049		

$R^2 = 0,654625$ CV error = 11,51866

Tabla 9.A3 Altura de planta

Fuente de variación	GL	SM	CM	F	Pr > F
Bloques	2	2837,07050	1418,53525	7,17	0,0017
Materiales	33	17588,27115	532,97791	2,69	0,0006
Cruzamientos	25	11207,82514	448,31301	2,26	0,006
Parentales	7	6338,686141	905,526592	4,57	<,0001
Cruzamientos vs Parentales	1	71,64375835	71,64375835	0,36	0,5500
Error	54	10689,54960	197,95462		

$R^2 = 0,656449$ CV error = 9,275547

Tabla 10.A3 Precocidad

Fuente de variación	GL	SM	CM	F	Pr > F
Bloques	2	121,020161	60,510081	4,95	0,0107
Materiales	33	3534,808333	107,115404	8,75	<,0001
Cruzamientos	25	1229,777985	49,191119	4,02	<,0001
Parentales	7	2166,448661	309,492666	25,29	<,0001
Cruzamientos vs Parentales	1	130,7479558	130,7479558	10,69	0,0019
Error	54	660,771505	12,236509		

$R^2 = 0,846923$ CV error = 5,074573

SET 2

Tabla 11.A3 Peso del turión

Fuente de variación	GL	SM	CM	F	Pr > F
Bloques	2	0,00000906	0,00000453	2,40	0,1031
Materiales	26	0,00024248	0,00000933	4,94	<,0001
Cruzamientos	19	0,00019349	0,00001018	5,39	<,0001
Parentales	6	0,00003935	0,00000656	3,47	0,007
Cruzamientos vs Parentales	1	6,6814497 10^{-6}	6,6814497 10^{-6}	3,54	0,0668
Error	42	0,00007926	0,00000189		

$R^2 = 0,760389$ CV error = 20,10546

Tabla 12.A3 Diámetro del turión

Fuente de variación	GL	SM	CM	F	Pr > F
Bloques	2	1,15345292	0,57672646	0,79	0,4587
Materiales	26	88,88852160	3,41878929	4,71	<,0001
Cruzamientos	19	70,26055784	3,69792410	5,09	<,0001
Parentales	6	15,65508333	2,60918056	3,59	0,006
Cruzamientos vs Parentales	1	2,00225177	2,00225177	2,76	0,1043
Error	42	30,5045804	0,7262995		

$R^2 = 0,746948$ CV error = 12,39293

Tabla 13.A3 Calidad

Fuente de variación	GL	SM	CM	F	Pr > F
Bloques	2	0,02015417	0,01007708	0,18	0,8362
Materiales	26	11,33899977	0,43611538	7,78	<,0001
Cruzamientos	19	6,72340098	0,35386321	6,31	<,0001
Parentales	6	3,21994667	0,53665778	9,57	<,0001
Cruzamientos vs Parentales	1	1,12370278	1,12370278	20,04	<,0001
Error	42	2,35562917	0,05608641		

$R^2 = 0,828242$ CV error = 8,574078

Tabla 14.A3 Rendimiento total

Fuente de variación	GL	SM	CM	F	Pr > F
Bloques	2	0,36830532	0,18415266	7,43	0,0014
Materiales	26	4,12531283	0,15866588	2,81	0,0014
Cruzamientos	19	2,86475660	0,15077666	2,67	0,004
Parentales	6	0,29779466	0,04963244	0,88	0,511
Cruzamientos vs Parentales	1	1,11325033	1,11325033	19,75	<,0001
Error	42	2,36763167	0,05637218		

$R^2 = 0,658026$ CV error = 28,02763

Tabla 15.A3 Rendimiento comercial

Fuente de variación	GL	SM	CM	F	Pr > F
Bloques	2	0,12833049	0,06416525	2,55	0,0903
Materiales	26	3,65286641	0,14049486	5,58	<,0001
Cruzamientos	19	3,09870832	0,16308991	6,47	<,0001
Parentales	6	0,13057951	0,02176325	0,86	0,532
Cruzamientos vs Parentales	1	0,36917293	0,36917293	14,66	0,0004
Error	42	1,05781722	0,02518612		

$R^2 = 0,781398$ CV error = 12,09416

Tabla 16.A3 Número de turiones totales

Fuente de variación	GL	SM	CM	F	Pr > F
Bloques	2	15,6916130	7,8458065	1,85	0,1700
Materiales	26	494,9222430	19,0354709	4,49	<,0001
Cruzamientos	19	380,9714257	20,0511277	4,72	<,0001
Parentales	6	68,25062199	11,37510367	2,68	0,027
Cruzamientos vs Parentales	1	79,98498222	79,98498222	18,85	<,0001
Error	42	178,2238401	4,2434248		

$R^2 = 0,741269$ CV error = 22,64502

Tabla 17.A3 Número de turiones comerciales

Fuente de variación	GL	SM	CM	F	Pr > F
Bloques	2	1,56301110	0,78150555	1,86	0,1675
Materiales	26	55,64116225	2,14004470	5,11	<,0001
Cruzamientos	19	45,21270023	2,37961580	5,68	<,0001
Parentales	6	2,82991210	0,47165202	1,12	0,367
Cruzamientos vs Parentales	1	0,20208654	0,20208654	0,85	0,3615
Error	42	17,60100640	0,41907158		

$R^2 = 0,764709$ CV error = 26,44524

Tabla 18.A3 Altura a la primera ramificación

Fuente de variación	GL	SM	CM	F	Pr > F
Bloques	2	69,167322	34,583661	2,15	0,1290
Materiales	26	1478,113994	56,850538	3,54	0,0001
Cruzamientos	19	682,4903657	35,9205456	2,23	0,015
Parentales	6	760,3886283	126,7314381	7,88	<,0001
Cruzamientos vs Parentales	1	39,09847358	39,09847358	2,43	0,1264
Error	42	675,174861	16,075592		

$R^2 = 0,696203$ CV error = 10,55409

Tabla 19.A3 Altura de planta

Fuente de variación	GL	SM	CM	F	Pr > F
Bloques	2	3940,537240	1970,268620	10,47	0,0002
Materiales	26	9691,217777	372,739145	1,98	0,0237
Cruzamientos	19	5436,191691	286,115352	1,52	0,128
Parentales	6	3940,694792	656,782465	3,49	0,007
Cruzamientos vs Parentales	1	369,7894514	369,7894514	1,96	0,1684
Error	42	7906,69193	188,25457		

$R^2 = 0,632903$ CV error = 8,399634

Tabla 20.A3 Precocidad

Fuente de variación	GL	SM	CM	F	Pr > F
Bloques	2	301,939583	150,969792	8,01	0,0011
Materiales	26	3268,337441	125,705286	6,67	<,0001
Cruzamientos	19	1315,335784	69,228199	3,67	<,0001
Parentales	6	1881,283333	313,547222	16,64	<,0001
Cruzamientos vs Parentales	1	107,1719450	107,1719450	5,69	0,0217
Error	42	791,518750	18,845685		

$R^2 = 0,818534$ CV error = 6,512889

ANEXO 4

Evaluación de ACG y ACE. Método de Griffing II, modelo 1. Por Set y Carácter evaluado.

Set 1 y Carácter evaluado: Peso turión

Tabla 1.A4 Tabla de Análisis de la variancia para ACG y ACE

	GL	SC	CM	F	Pr>F
ACG	7	2,2033e-05	3,1476e-06	9,3765	1,505e-07 ***
ACE	28	5,2024e-05	1,8580e-06	5,5348	3,978e-08 ***
Error	54	1,8128e-05	3,3570e-07		

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tabla 2.A4 Tabla de Componentes genéticos, ACG y ACE

Componente Genético	Valor
ACG	2,811945e-07
ACE	1,522307e-06
ACG/ACE	1,847161e-01

Tabla 3.A4 Efectos para ACG y ACE.

	4	5	6	7	8	11	13	20
4	-0,0002143913	-0,0002207972	0,0005353389	1,024494e-05	-0,0008243013	-0,002014044	0,0013403187	7,062003e-04
5		0,0003304588	-0,0010267526	-4,340622e-04	-0,0006354881	0,003850372	0,0001776544	-6,312935e-04
6			-0,0005391186	7,049669e-04	0,0005197270	-0,001497999	0,0001358784	1,070136e-04
7				-5,928160e-04	-0,0003050716	-0,000422682	0,0006372483	-1,695857e-04
8					-0,0004671398	0,003654381	-0,0001720765	4,150294e-04
11						0,000691080	-0,0016772046	-2,148209e-03
13							0,0008413379	-6,247321e-05
20								-4,941103e-05

Set 2 y Carácter evaluado: Peso turión

Tabla 4.A4 Tabla de Análisis de la variancia para ACG y ACE

	GL	SC	CM	F	Pr>F
ACG	6	6,5708e-05	1,0951e-05	17,4085	5,421e-10 ***
ACE	21	2,4564e-05	1,1697e-06	1,8594	0,04321 *
Error	42	2,6421e-05	6,2910e-07		

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tabla 5.A4 Tabla de Componentes genéticos, ACG y ACE

Componente Genético	Valor
ACG	1,146922e-06
ACE	5,406174e-07
ACG/ACE	2,121504e+00

Tabla 6.A4 Efectos para ACG y ACE.

	1	3	6	10	12	13	20
1	1,161466e-05	-0,0002295166	-0,0005777452	0,0004691398	5,451276e-04	1,386662e-04	0,0001998166
3		-0,0002810630	0,0002620166	0,0003523370	4,285886e-04	3,756885e-04	-0,0001360804
6			-0,0011668992	0,0007089773	6,056479e-05	-3,767332e-05	-0,0003852992
10				-0,0005276717	1,483906e-03	-2,191806e-03	0,0010094560
12					2,314456e-03	2,688013e-03	-0,0006026232
13						1,107752e-04	-0,0004520040
20							-0,0004612125

Set 1 y Carácter evaluado: Calibre

Tabla 7.A4 Tabla de Análisis de la variancia para ACG y ACE

	GL	SC	CM	F	Pr>F
ACG	7	7,5767	1,08239	8,1931	9,014e-07 ***
ACE	28	20,3237	0,72585	5,4943	4,501e-08 ***
Error	54	7,1339	0,13211		

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tabla 8.A4 Tabla de Componentes genéticos, ACG y ACE

Componente Genético	Valor
ACG	0,09502769
ACE	0,59373575
ACG/ACE	0,16005048

Tabla 9.A4 Efectos para ACG y ACE.

	4	5	6	7	8	11	13	20
4	-0,05275	-0,1635370	0,3184630	0,01396296	-0,5530370	-1,3837037	0,95062963	0,44862963
5		0,1984167	-0,8010370	-0,25387037	-0,2208704	2,1984630	0,19946296	-0,36253704
6			-0,3069167	0,53812963	0,5777963	-0,9962037	0,00812963	-0,01387037
7				-0,31575000	-0,1800370	-0,1940370	0,28362963	-0,04170370
8					-0,3654167	2,2722963	-0,20670370	0,24462963
11						0,3985833	-0,98070370	-1,29937037
13							0,47758333	-0,02837037
20								-0,03375000

Set 2 y Carácter evaluado: Calibre

Tabla 10.A4 Tabla de Análisis de la variancia para ACG y ACE

	GL	SC	CM	F	Pr>F
ACG	6	23,8102	3,9684	16,3914	1,282e-09 ***
ACE	21	9,1559	0,4360	1,8009	0,0519
Error	42	10,1682	0,2421		

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tabla 11.A4 Tabla de Componentes genéticos, ACG y ACE

Componente Genético	Valor
ACG	0,4140293
ACE	0,1938953
ACG/ACE	2,1353245

Tabla 12.A4 Efectos para ACG y ACE.

	1	3	6	10	12	13	20
1	0,05510582	-0,1522222	-0,4903704	0,2785185	0,4481481	0,142962963	0,24148148
3		-0,1035979	0,1166667	0,2038889	0,2968519	0,151666667	0,07685185
6			-0,6971164	0,3707407	0,1670370	-0,031481481	-0,23629630
10				-0,3076720	0,9409259	-1,424259259	0,61425926
12					1,3926984	1,438703704	-0,96611111
13						-0,005449735	-0,15796296
20							-0,33396825

Set 1 y Carácter evaluado: Calidad

Tabla 13.A4 Tabla de Análisis de la variancia para ACG y ACE

	GL	SC	CM	F	Pr>F
ACG	7	2,26486	0,32355	22,3491	7,348e-14 ***
ACE	28	1,83656	0,06559	4,5307	9,944e-07 ***
Error	54	0,78177	0,01448		

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tabla 14.A4 Tabla de Componentes genéticos, ACG y ACE

Componente Genético	Valor
ACG	0,03090749
ACE	0,05111435
ACG/ACE	0,60467347

Tabla 15.A4 Efectos para ACG y ACE.

	4	5	6	7	8	11	13	20
4	0,2649845	-0,25476402	-0,07977808	0,04656931	-0,03682593	0,32856931	-0,233478541	0,07856931
5		0,09531785	0,30155526	0,21623598	0,13617407	-0,08176402	-0,132145208	0,22490265
6			-0,08633475	-0,22877808	-0,08369940	-0,21011141	-0,082159267	-0,11344474
7				-0,04934881	-0,03915927	-0,16709735	0,007521459	-0,15709735
8					0,13404644	-0,72049260	0,086271433	-0,19049260
11						-0,03801548	0,419521459	0,28823598
13							-0,342634290	-0,19381187
20								0,02198452

Set 2 y Carácter evaluado: Calidad

Tabla 16.A4 Tabla de Análisis de la variancia para ACG y ACE

	GL	SC	CM	F	Pr>F
ACG	6	2,38614	0,39769	21,2720	2,739e-11 ***
ACE	21	1,75648	0,08364	4,4739	1,809e-05 ***
Error	42	0,78521	0,01870		

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tabla 17.A4 Tabla de Componentes genéticos, ACG y ACE

Componente Genético	Valor
ACG	0,04211050
ACE	0,06494661
ACG/ACE	0,64838651

Tabla 18.A4 Efectos para ACG y ACE.

	1	3	6	10	12	13	20
1	0,0738101	-0,1957875	0,3166198683	0,1649532	-0,41560035	-0,06189865	-0,22078553
3		0,1558471	0,1879161646	-0,0887505	-0,20430405	-0,11726902	0,14717743
6			0,0001063939	-0,5580098	0,07810336	-0,10819495	-0,09708183
10				0,2784397	-0,08689664	0,43013839	-0,16208183
12					-0,05434006	-0,43708183	-0,06598678
13						-0,38804175	-0,04560035
20							-0,06582154

Set 1 y Carácter evaluado: Rendimiento total

Tabla 19.A4 Tabla de Análisis de la variancia para ACG y ACE

	GL	SC	CM	F	Pr>F
ACG	7	0,59043	0,084348	10,2130	4,522e-08 ***
ACE	28	1,09721	0,039186	4,7448	4,867e-07 ***
Error	54	0,44598	0,008259		

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tabla 20.A4 Tabla de Componentes genéticos, ACG y ACE

Componente Genético	Valor
ACG	0,007608868
ACE	0,030927400
ACG/ACE	0,246023534

Tabla 21.A4 Efectos para ACG y ACE.

	4	5	6	7	8	11	13	20
4	0,06201763	-0,06023014	0,04729787	0,037837975	-0,090652303	-0,19057604	0,29395862	0,134404877
5		-0,02641795	-0,18110243	0,135711578	-0,008265862	0,12663726	0,14456085	-0,090031342
6			-0,04684343	0,007045127	0,142040821	-0,13713718	0,03456460	0,072357823
7				-0,109844994	-0,084123247	-0,05992923	0,15423791	-0,126104311
8					-0,113190221	0,60715962	-0,04577921	-0,007242405
11						0,08665020	-0,07079573	-0,299522570
13							0,14097660	0,249240811
20								0,006652160

Set 2 y Carácter evaluado: Rendimiento total

Tabla 22.A4 Tabla de Análisis de la variancia para ACG y ACE

	GL	SC	CM	F	Pr>F
ACG	6	0,42978	0,071630	3,8120	0,0040237 **
ACE	21	1,41969	0,067604	3,5977	0,0002033 ***
Error	42	0,78921	0,018791		

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tabla 23.A4 Tabla de Componentes genéticos, ACG y ACE

Componente Genético	Valor
ACG	0,00587105
ACE	0,04881333
ACG/ACE	0,12027554

Tabla 24.A4 Efectos para ACG y ACE.

	1	3	6	10	12	13	20
1	-0,02490861	-0,117059672	0,07659246	0,03608317	0,24583820	-0,05787643	0,004782838
3		0,000274193	0,08858917	-0,03523216	0,03374002	0,25675359	-0,218536740
6			-0,14572413	-0,05355432	-0,02421808	-0,07308652	0,011399637
10				0,01307153	0,11239656	0,48428944	0,296640313
12					0,07946608	0,43889714	-0,058965504
13						0,12941916	0,100959366
20							-0,051598216

Set 1 y Carácter evaluado: Rendimiento comercial

Tabla 25.A4 Tabla de Análisis de la variancia para ACG y ACE

	GL	SC	CM	F	Pr>F
ACG	7	0,21946	0,031352	7,8438	1,562e-06 ***
ACE	28	0,58312	0,020826	5,2103	1,086e-07 ***
Error	54	0,21584	0,003997		

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tabla 26.A4 Tabla de Componentes genéticos, ACG y ACE

Componente Genético	Valor
ACG	0,002735475
ACE	0,016828801
ACG/ACE	0,162547207

Tabla 27.A4 Efectos para ACG y ACE.

	4	5	6	7	8	11	13	20
4	-0,01343174	-0,032512267	0,05798099	0,01555957	-0,11011693	-0,14525772	0,23344659	0,075650301
5		0,000970195	-0,06183123	0,03871956	-0,05572399	0,20122925	0,08296120	-0,082867014
6			-0,05361276	0,03238161	0,06430393	-0,17818780	0,03859035	0,006245872
7				-0,06984518	-0,04438179	-0,09443829	0,14055987	-0,054551644
8					-0,02575845	0,46420786	-0,08790360	-0,008805054
11						0,06016011	-0,16336972	-0,207595399
13							0,09859477	0,047529236
20								0,002923045

Set 2 y Carácter evaluado: Rendimiento comercial

Tabla 28.A4 Tabla de Análisis de la variancia para ACG y ACE

	GL	SC	CM	F	Pr>F
ACG	6	0,52285	0,087142	10,3798	4,876e-07 ***
ACE	21	0,78664	0,037459	4,4619	1,867e-05 ***
Error	42	0,35261	0,008395		

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tabla 29.A4 Tabla de Componentes genéticos, ACG y ACE

Componente Genético	Valor
ACG	0,008749656
ACE	0,029063606
ACG/ACE	0,301051966

Tabla 30.A4 Efectos para ACG y ACE.

	1	3	6	10	12	13	20
1	-0,02525358	-0,05132639	-0,02832862	0,0003331554	0,24801154	-0,004431514	0,06229845
3		-0,01966922	0,03057423	0,0076975880	0,07597847	0,154294382	-0,08714052
6			-0,12330797	0,0508192068	-0,04483147	-0,007187389	-0,04133082
10				-0,0650637996	0,11562953	-0,173644369	0,23522849
12					0,17804416	0,551371836	-0,15766445
13						0,074561589	-0,04570949
20							-0,01931118

Set 1 y Carácter evaluado: Número de turiones totales por planta

Tabla 31.A4 Tabla de Análisis de la variancia para ACG y ACE

	GL	SC	CM	F	Pr>F
ACG	7	47,032	6,7189	6,3635	1,805e-05 ***
ACE	28	76,232	2,7226	2,5786	0,001405 **
Error	54	57,016	1,0558		

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tabla 32.A4 Tabla de Componentes genéticos, ACG y ACE

Componente Genético	Valor
ACG	0,5663042
ACE	1,6667088
ACG/ACE	0,3397739

Tabla 33.A4 Efectos para ACG y ACE.

	4	5	6	7	8	11	13	20
4	1,318853	-0,5632639	-0,2484546	0,7428622	0,8367010	1,8150777	0,4594056	0,44922608
5		-0,6890573	-1,3145374	2,7217733	1,1455876	-2,7285997	1,0069980	-0,32125233
6			0,2177451	-0,9893637	0,9869295	0,7645979	0,5403054	0,53140799
7				-0,6673446	-0,6684994	-0,4694822	1,0329043	-1,46201268
8					-1,2160063	1,5483493	0,5870363	-0,23954141
11						0,3651407	1,5617743	-0,78692776
13							0,6176383	3,40181398
20								0,05303145

Set 2 y Carácter evaluado: Número de turiones totales por planta.

Tabla 34.A4 Tabla de Análisis de la variancia para ACG y ACE

	GL	SC	CM	F	Pr>F
ACG	6	73,440	12,2401	8,6534	3,805e-06 ***
ACE	21	292,904	13,9478	9,8608	2,802e-10 ***
Error	42	59,408	1,4145		

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tabla 35.A4 Tabla de Componentes genéticos, ACG y ACE

Componente Genético	Valor
ACG	1,20284455
ACE	12,53332428
ACG/ACE	0,09597171

Tabla 36.A4 Efectos para ACG y ACE.

	1	3	6	10	12	13	20
1	-0,6775598	-0,90481442	2,1389110	-0,6739095	1,54193952	-1,3535493	0,16128221
3		0,07971193	0,6957418	-1,1619505	-0,10361061	1,4796551	-2,40612384
6			-0,1847095	-2,2864180	-0,04431744	-0,8277184	0,36501305
10				1,0618717	-1,23229057	13,4974953	1,26373100
12					-1,90916654	-0,2564359	1,33150526
13						1,6980439	1,75255884
20							-0,06819178

Set 1 y Carácter evaluado: Número de turiones comerciales por planta

Tabla 37.A4 Tabla de Análisis de la variancia para ACG y ACE

	GL	SC	CM	F	Pr>F
ACG	7	4,9224	0,70319	8,8414	3,335e-07 ***
ACE	28	11,1468	0,39810	5,0054	2,083e-07 ***
Error	54	4,2948	0,07953		

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tabla 38.A4 Tabla de Componentes genéticos, ACG y ACE

Componente Genético	Valor
ACG	0,06236595
ACE	0,31856418
ACG/ACE	0,19577202

Tabla 39.A4 Efectos para ACG y ACE.

	4	5	6	7	8	11	13	20
4	-0,04872941	-0,168893747	0,3073963	0,05644536	-0,5103385	-0,6535646	1,04539693	0,344118519
5		0,003596041	-0,3337570	0,19368035	-0,1966688	0,9052210	0,38592862	-0,338243564
6			-0,2767233	0,21484221	0,1883267	-0,8144596	0,01789635	0,065091681
7				-0,30232914	-0,2047629	-0,3892811	0,75375857	-0,318032664
8					-0,1509910	1,8098080	-0,08258595	-0,005085117
11						0,2342987	-0,70008536	-0,964550590
13							0,49168632	0,227237591
20								0,049191834

Set 2 y Carácter evaluado: Número de turiones comerciales por planta.

Tabla 40.A4 Tabla de Análisis de la variancia para ACG y ACE

	GL	SC	CM	F	Pr>F
ACG	6	8,6263	1,43772	10,2922	5,388e-07 ***
ACE	21	12,3975	0,59036	4,2262	3,506e-05 ***
Error	42	5,8670	0,13969		

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tabla 41.A4 Tabla de Componentes genéticos, ACG y ACE

Componente Genético	Valor
ACG	0,1442255
ACE	0,4506665
ACG/ACE	0,3200271

Tabla 42.A4 Efectos para ACG y ACE.

	1	3	6	10	12	13	20
1	-0,1135621	-0,25366366	-0,02513293	-0,09496742	0,9631922	0,1105847	0,34285912
3		-0,03914881	0,08360401	0,11633362	0,2385958	0,9189554	-0,53558342
6			-0,56987734	0,22184848	-0,1372691	-0,1272392	-0,27561191
10				-0,29003064	0,3685985	-0,4968294	1,08343028
12					0,6670723	1,9389248	-0,12543630
13						0,2962365	-0,21117018
20							0,04931009

Set 1 y Carácter evaluado: Altura a la primera ramificación

Tabla 43.A4 Tabla de Análisis de la variancia para ACG y ACE

	GL	SC	CM	F	Pr>F
ACG	7	330,77	47,253	7,5572	2,471e-06 ***
ACE	28	350,36	12,513	2,0012	0,0144 *
Error	54	337,64	6,253		

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tabla 44.A4 Tabla de Componentes genéticos, ACG y ACE

Componente Genético	Valor
ACG	4,1000128
ACE	6,2600000
ACG/ACE	0,6549541

Tabla 45.A4 Efectos para ACG y ACE.

	4	5	6	7	8	11	13	20
4	-1,72885	0,4620519	-0,6161481	-0,5389481	1,5998185	-2,083614	1,5496852	1,9543852
5		-1,3545167	-6,6154815	-2,8332815	0,8488185	-3,2946148	-1,9529815	-1,1299481
6			0,8936833	5,3785185	1,8242852	-2,1628148	-4,0328481	5,0818519
7				1,0664833	0,8878185	0,8677185	0,5010185	-2,0876148
8					-2,6989500	7,0498185	-1,3832148	0,7794852
11						-1,1821833	-2,1236481	-3,6589481
13							4,1011833	2,6693519
20								0,9031500

Set 2 y Carácter evaluado: Altura a la primera ramificación

Tabla 46.A4 Tabla de Análisis de la variancia para ACG y ACE

	GL	SC	CM	F	Pr>F
ACG	6	303,64	50,607	9,4442	1,45e-06 ***
ACE	21	232,54	11,073	2,0665	0,02246 *
Error	42	225,06	5,359		

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tabla 47.A4 Tabla de Componentes genéticos, ACG y ACE

Componente Genético	Valor
ACG	5,0275826
ACE	5,7146439
ACG/ACE	0,8797718

Tabla 48.A4 Efectos para ACG y ACE.

	1	3	6	10	12	13	20
1	-1,270776	0,1569751	-0,71709898	-3,2778397	1,759260	-4,560618	-0,2753697
3		-1,0970721	0,06919731	0,9451232	3,082223	-1,480988	-1,2390734
6			0,98366868	4,9677158	-2,748518	-5,188395	4,1801858
10				-1,9122572	2,277408	2,914197	0,4461118
12					-2,239357	4,994630	0,9326480
13						4,493854	1,4650007
20							1,0419394

Set 1 y Carácter evaluado: Altura de planta

Tabla 49.A4 Tabla de Análisis de la variancia para ACG y ACE

	GL	SC	CM	F	Pr>F
ACG	7	3221,7	460,24	6,9749	6,417e-06 ***
ACE	28	3749,2	133,90	2,0293	0,01286 *
Error	54	3563,2	65,98		

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tabla 50.A4 Tabla de Componentes genéticos, ACG y ACE

Componente Genético	Valor
ACG	39,4251664
ACE	67,9153951
ACG/ACE	0,5805041

Tabla 51.A4 Efectos para ACG y ACE.

	4	5	6	7	8	11	13	20
4	-1,110678	5,140973	6,868284	-7,604860	-1,600238	-19,323027	2,051617	3,751973
5		-4,144011	-21,140049	-2,988194	8,849762	-7,039694	-0,956716	-6,048027
6			2,212011	4,155784	7,428962	-4,895716	-14,687738	11,762617
7				1,101822	10,020595	4,297806	10,047451	-17,127194
8					-9,652800	14,219095	-2,637705	3,002428
11						-5,513344	-7,295716	-10,622027
13							12,278678	20,320951
20								4,828322

Set 2 y Carácter evaluado: Altura de planta

Tabla 52.A4 Tabla de Análisis de la variancia para ACG y ACE

	GL	SC	CM	F	Pr>F
ACG	6	751,07	125,179	1,9948	0,08793 .
ACE	21	2942,29	140,109	2,2328	0,01324 *
Error	42	2635,56	62,752		

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tabla 53.A4 Tabla de Componentes genéticos, ACG y ACE

Componente Genético	Valor
ACG	6,93637918
ACE	77,35761295
ACG/ACE	0,08966641

Tabla 54.A4 Efectos para ACG y ACE.

	1	3	6	10	12	13	20
1	-0,4158984	-4,946274	-2,4740519	-9,650348	10,9225261	-17,571274	-13,925067
3		2,602620	-0,9092371	5,664467	2,1540076	10,243541	2,889748
6			-1,2862687	12,803356	0,4595631	-16,367570	6,445304
10				-6,693306	12,6999335	-2,960533	3,022341
12					-0,8495134	11,195674	-1,143987
13						5,227620	18,556415
20							1,414746

Set 1 y Carácter evaluado: Precocidad

Tabla 55.A4 Tabla de Análisis de la variancia para ACG y ACE

	GL	SC	CM	F	Pr>F
ACG	7	931,02	133,003	32,6082	< 2,2 e-16 ***
ACE	28	362,93	12,962	3,1778	0,0001325 ***
Error	54	220,26	4,079		

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tabla 56.A4 Tabla de Componentes genéticos, ACG y ACE

Componente Genético	Valor
ACG	12,892458
ACE	8,883063
ACG/ACE	1,451353

Tabla 57.A4 Efectos para ACG y ACE.

	4	5	6	7	8	11	13	20
4	1,272083	-2,772407	0,234259259	0,6025926	-1,6840741	0,6692593	-1,574074	3,11925926
5		0,913750	0,009259259	3,1275926	1,5075926	6,8609259	5,450926	-1,68907407
6			0,573750000	-2,5324074	-4,5524074	0,7009259	4,624259	1,31759259
7				0,7054167	0,3825926	-1,0974074	3,159259	-0,64740741
8					3,6587500	1,1159259	4,639259	0,06592593
11						1,4720833	-1,607407	-4,91407407
13							-8,617917	3,34259259
20								0,02208333

Set 2 y Carácter evaluado: Precocidad

Tabla 58.A4 Tabla de Análisis de la variancia para ACG y ACE

	GL	SC	CM	F	Pr>F
ACG	6	622,15	103,692	16,5065	1,161e-09 ***
ACE	21	659,01	31,381	4,9955	4,742e-06 ***
Error	42	263,84	6,282		

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tabla 59.A4 Tabla de Componentes genéticos, ACG y ACE

Componente Genético	Valor
ACG	10,8233817
ACE	25,0994912
ACG/ACE	0,4312192

Tabla 60.A4 Efectos para ACG y ACE

	1	3	6	10	12	13	20
1	-0,1305798	-2,868382	6,5575443	3,70569249	0,2995892	-0,6461594	0,4107003
3		2,341642	-0,1646779	-0,09986307	-5,5059664	13,5482851	-3,8948552
6			1,8323832	-4,92393714	-3,1633738	2,3908777	0,6144040
10				3,76756837	-4,7652256	8,6223592	2,5125522
12					-3,1596617	0,3829225	1,0947118
13						-5,8805798	1,1607003
20							1,2292272

ANEXO 5

Datos de scoring por combinación de cebador en las accesiones evaluadas

Tabla 1.A5 Datos moleculares donde se detalla la presencia (1) o ausencia (0) de la banda del marcador SRAP en el gel.

Accesión Combinación de cebador	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	15	16	17	20	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
6_6.1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	
6_6.2	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0
6_6.3	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6_6.4	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
6_6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
6_6.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
6_6.7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0
6_6.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0
6_6.9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0
6_6.10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0
6_6.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
6_6.12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0
6_6.13	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0
6_6.14	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0
6_6.15	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
6_6.16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0
6_6.17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0
6_6.18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0
6_6.19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
6_6.20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0
6_6.21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
6_6.22	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
6_7.1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
6_7.2	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6_7.3	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6_7.4	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6_7.5	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6_7.6	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6_7.7	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0
6_7.8	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0
6_7.9	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
6_7.10	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
6_7.11	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6_7.12	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
6_7.13	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0
6_7.14	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0
6_7.15	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

6_7.16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0		
6_7.17	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	
6_7.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
6_7.19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6_7.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0		
6_7.21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0		
6_7.22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	
6_7.23	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0		
6_7.24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0		
6_7.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	
6_7.26	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	
6_7.27	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	
6_7.28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	
6_7.29	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	
6_7.30	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	
6_7.31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
6_7.32	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	
6_7.33	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
6_7.34	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	
6_7.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6_7.36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6_7.37	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
6_8.1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6_8.2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	
6_8.3	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6_8.4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	
6_8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6_8.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
6_8.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
6_8.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6_8.9	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6_8.10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6_8.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6_8.12	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6_8.13	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6_8.14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	
6_8.15	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6_8.16	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	
6_8.17	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	
6_9.1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6_9.2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6_9.3	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6_9.4	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6_9.5	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6_9.6	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

10_6.19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
10_6.20	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10_6.21	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10_6.22	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10_6.23	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10_6.24	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	
10_6.25	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
10_6.26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
10_6.27	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
10_6.28	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
10_6.29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	
10_6.30	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
10_6.31	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0
10_6.32	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10_6.33	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10_6.34	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10_6.35	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10_6.36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
10_6.37	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10_6.38	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10_6.39	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10_6.40	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10_6.41	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10_6.42	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10_6.43	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10_6.44	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10_6.45	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0
6_4.1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6_4.2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1
6_4.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
6_4.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
6_4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
6_4.6	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6_4.7	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6_4.8	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6_4.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
6_4.10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
6_4.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
6_4.12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6_4.13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1
6_4.14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
6_4.15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
6_4.16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
6_4.17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1
6_4.18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1

10_3.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
10_3.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
10_3.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
10_3.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
10_3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
10_3.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
10_3.7	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
10_3.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
10_3.9	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
10_3.10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
10_3.11	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
10_3.12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
10_3.13	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10_3.14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10_3.15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
10_3.16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
10_3.17	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10_3.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
10_3.19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
10_3.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
10_3.21	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10_3.22	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
10_3.23	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10_3.24	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1
10_3.25	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10_3.26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
10_3.27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
9_9.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9_9.2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9_9.3	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9_9.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9_9.5	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9_9.6	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9_9.7	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9_9.8	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9_9.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9_9.10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9_9.11	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9_9.12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9_9.13	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9_9.14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9_9.15	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9_9.16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9_9.17	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9_9.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

