UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

CARACTERIZACIÓN DE LA VARIABILIDAD EN EL MANTENIMIENTO DEL CULTIVAR DE CEBOLLA PANTANOSO DEL SAUCE

por

Santiago FERREIRA LANZA

Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el título de
Ingeniero Agrónomo

MONTEVIDEO
URUGUAY
2026

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia
“Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada**”.



PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director: _____
Ing. Agr. (Dr.) Pablo González Barrios

Codirector: _____
Ing. Agr. Nicolás Núñez

Tribunal:

_____
Ing. Agr. (Dr.) Pablo González Barrios

_____
Lic. Biol. (Mag.) Bettina Porta

_____
Lic. Est. (Dra.) Inés Berro

Fecha: 12 de noviembre de 2026

Estudiante: _____
Santiago Ferreira Lanza

AGRADECIMIENTOS

A mi abuelo César, por haberme inculcado el interés por la agronomía, y por haberme inspirado a estudiar esta carrera.

A mis padres, Cristina y Walter, y mi hermana Alfonsina, por su presencia y su apoyo constante a lo largo de toda la carrera, especialmente en los momentos difíciles.

A mi abuela, Cristina, y a todos mis tíos y primos, por todo su apoyo y su disposición a ayudar en todo momento.

A mis amigos, por su apoyo y sus ánimos, a pesar de las distancias.

A Nicolás Núñez, Guillermo Galván y Pablo González Barrios, por haber sido parte fundamental de todo este proceso de aprendizaje, con la mejor disposición en todo momento.

A todo el personal del Centro Regional Sur, por la buena disposición, el cuidado del ensayo, el apoyo en las tareas y la valiosa información aportada para este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN 3
AGRADECIMIENTOS 4
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS 7
RESUMEN 9
ABSTRACT 10
1. INTRODUCCIÓN 11
2. OBJETIVOS 13
2.1. Objetivo general 13
2.2. Objetivos específicos 13
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 14
3.1. Producción hortícola nacional 14
3.2. Situación global y nacional del cultivo de cebolla 14
3.3. Fisiología y fenología de la cebolla 15
3.3.1.Morfología 15
3.3.2. Fisiología 16
3.4. Manejo del cultivo de cebolla en Uruguay 17
3.5. Importancia de las variedades criollas 18
3.6. Mejoramiento y conservación 19
3.6.1. Mejoramiento genético de cebolla 19
3.6.2. Mejoramiento genético de cebolla en Uruguay 22
3.6.3. El cultivar Pantanoso del Sauce-CRS 23
4. MATERIALES Y MÉTODOS 24
4.1. Sitio experimental 24
4.2. Material vegetal 24
4.3. Diseño experimental 25
4.4. Manejo del experimento 26
4.5. Determinaciones 28
4.5.1. Germinación inicial 28
4.5.2. Mediciones en planta durante ciclo del cultivo 28
4.5.3. Mediciones de vuelco y cosecha 29
4.5.4. Mediciones en galpón 30
4.5.5. Resumen de variables evaluadas 30
4.6. Análisis estadístico 32
5. RESULTADOS 36
5.1. Análisis descriptivo de resultados 36

5.1.1. Muestreos de campo 36
5.1.2. Muestreo destructivo de noviembre 37
5.1.3. Muestreo destructivo de cosecha 39
5.1.4. Muestreos de vuelco y galpón 40
5.2. Análisis de varianza y pruebas de comparación 41
5.2.1. Ranking de medias ajustadas 42
5.2.2. Test de Dunnett contra testigo de Pantanoso del Sauce 46
5.3. Componentes de varianza y estimaciones de heredabilidad 51
5.4. Análisis multivariado 52
5.4.1. Correlaciones entre variables 52
5.4.2. Análisis de Componentes Principales 53
5.4.3. Variables más discriminantes 54
5.5. Selección de familias para el mantenimiento del cultivar 55
5.6 Materiales promisorios para mejoramiento 56
6. DISCUSIÓN 59
6.1. Descripción poblacional, análisis de varianzas y pruebas de comparación 59
6.2. Componentes de varianza, heredabilidad y correlaciones entre variables 61
6.3. Identificación de familias similares a PdS 63
6.4. Selección de familias con potencial para mejoramiento 64
7. CONCLUSIONES 66
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 67
9. ANEXOS 73

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tablas

Tabla 1 Esquema de posibles genotipos de medios hermanos (C y D) que comparten un parental (A) 24

Tabla 2 Detalle de las variables de estudio, instrumentos y métodos empleados para su evaluación 30

Tabla 3 Muestreos realizados en el experimento, con variables evaluadas, unidades de muestreo, fechas y frecuencias 32

Tabla 4 Estadísticos descriptivos resumen de variables en los muestreos de campo para los diferentes materiales evaluados 37

Tabla 5 Estadísticos descriptivos resumen de variables en el muestreo destructivo de noviembre para los materiales evaluados 38

Tabla 6 Estadísticos descriptivos resumen de variables en el muestreo destructivo de cosecha para los materiales evaluados 40

Tabla 7 Estadísticos descriptivos resumen de variables en muestreos de vuelco y galpón para los materiales evaluados 41

Tabla 8 Modelos ajustados, y p-valor obtenido para familia y bloque en las variables de estudio 42

Tabla 9 Número de familias significativamente diferentes de PdS en test de Dunnett para cada variable 47

Tabla 10 Descomposición de varianzas en componentes del diseño experimental para las cuatro variables de interés seleccionadas 51

Tabla 11 Aporte de cada variable a los dos primeros componentes principales 54

Tabla 12 Correlaciones y número de coincidencias entre rankings de 25 familias más similares a PdS 56

Tabla 13 Estadísticos descriptivos de cada ranking en variables de interés, y coeficiente de variación de IB_N 56

Tabla 14 Estadísticos descriptivos y coeficiente de variación de IB_N para ranking de cada criterio de mejoramiento 56

Tabla 15 Estadísticos descriptivos y coeficiente de variación de IB_N para las mejores 25 familias en puntaje RA 57

Tabla 16 Estadísticos descriptivos y coeficiente de variación de IB_N para las mejores 25 familias en puntaje RAH 58

Figuras

Figura 1 Esquema de posibles genotipos de medios hermanos (C y D) que comparten un parental (A) 22

Figura 2 Vista satelital del cuadro de ensayo y ubicación de los tres bloques del experimento 25

Figura 3 Croquis del experimento luego del trasplante para las familias de medios hermanos y testigos 26

Figura 4 Fotografía de los almácigos cuatro días después de la siembra, con familias delimitadas e identificadas 26

Figura 5 Fotografías del trasplante de familias y testigos en el ensayo a campo 27

Figura 6 Línea temporal de actividades durante el experimento, desde la siembra hasta el último muestreo (poscosecha) 28

Figura 7 Dos plantas de una parcela durante el muestreo destructivo, a los 83 DDT (5/11) 29

Figura 8 Fotografías de parcelas del experimento a los 119 DDT (11/12) 30

Figura 9 20 materiales superiores (verde) e inferiores (rojo) según media ajustada, con error estándar, para A_M111 43

Figura 10 20 materiales superiores (verde) e inferiores (rojo) según media ajustada, con error estándar, para IAF_N 44

Figura 11 20 materiales superiores (verde) e inferiores (rojo) según media ajustada, con error estándar, para IB_N 45

Figura 12 20 materiales superiores (verde) e inferiores (rojo) según media ajustada, con error estándar, para Y_G 46

Figura 13 Gráfico radial de Test de Dunnett contra PdS con 95% de confianza para A_M111 48

Figura 14 Gráfico radial de Test de Dunnett contra PdS con 95% de confianza para IAF_N 49

Figura 15 Gráfico radial de Test de Dunnett contra PdS con 95% de confianza para IB_N 50

Figura 16 Gráfico radial de Test de Dunnett contra PdS con 95% de confianza para Y_G 51

Figura 17 Heredabilidad de familia e individual para cada variable de las cuatro seleccionadas 52

Figura 18 Correlaciones entre cada una de las cuatro variables seleccionadas y todas las restantes 53

Figura 19 Gráfico biplot del Análisis de Componentes Principales para las variables seleccionadas 54

Figura 20 Aporte de cada variable a la distancia euclídea ponderada entre cada familia y PdS 55

RESUMEN

La cebolla (Allium cepa L.) es una de las principales hortalizas de Uruguay, donde predominan variedades de polinización abierta (VPA) de origen nacional. Pantanoso del Sauce-CRS, la VPA más difundida en la región Sur, se mantiene desde su liberación en el año 2000 mediante selección de bulbos por tamaño, forma y color. El objetivo de este trabajo fue caracterizar la variabilidad interna del cultivar y proponer estrategias de uso de ese germoplasma para su mantenimiento y para el mejoramiento. En 2025 se evaluaron 78 familias de medios hermanos y tres testigos (Pantanoso del Sauce [PdS], Armonía CRS y Yakama) en un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones, en el Centro Regional Sur (Canelones). Se midieron variables de desarrollo vegetativo, fenología y rendimiento. El efecto de familia fue significativo en 19 de las 23 variables evaluadas. La mayor variabilidad se observó en las variables fenológicas: 42 familias presentaron menor porcentaje de vuelco que PdS en la primera semana de diciembre, lo que indica ciclos más tardíos, mientras que ninguna difirió del testigo PdS en rendimiento. Las heredabilidades de familia fueron de 0.581 para índice de bulbificación, 0.565 para altura de follaje, 0.232 para índice de área foliar y 0.186 para rendimiento. Mediante cuatro criterios de distancia multivariada se identificaron 15 familias consistentemente similares a PdS, adecuadas para el mantenimiento, y, mediante índices de selección, se destacaron familias de alto rendimiento y ciclo uniforme, de interés para el mejoramiento. Se concluye que el cultivar presenta variabilidad considerable, especialmente en el ciclo, y que incorporar la fecha de vuelco como criterio de selección contribuiría a su mantenimiento. Una mayor intensidad de muestreo permitiría detectar diferencias en rendimiento entre familias.

Palabras clave: mejoramiento genético, cebolla, variedad de polinización abierta, heredabilidad

ABSTRACT

The onion (*Allium cepa* L.) is one of the primary vegetable crops in Uruguay, where open-pollinated (OP) national cultivars predominate. Pantanoso del Sauce-CRS, the most widely grown OP cultivar in the southern region, has been maintained since its release in 2000 through the selection of bulbs based on size, shape, and color. The objective of this study was to characterize the internal variability of this cultivar and to propose strategies for utilizing its germplasm for both maintenance and breeding purposes. In 2025, 78 half-sib families and three control cultivars (Pantanoso del Sauce [PdS], Armonía CRS, and Yakama) were evaluated at the Centro Regional Sur (Canelones) using a randomized complete block design with three replications. Variables related to vegetative development, phenology, and yield were measured. The family effect was significant for 19 of the 23 assessed variables. The greatest variability was observed in phenological traits: 42 families exhibited less foliage fall-down percentage than the PdS control during the first week of December, indicating later maturity cycles, while no families differed from the control in terms of yield. Family-based heritability estimates were 0.581 for the bulbing index, 0.565 for foliage height, 0.232 for leaf area index, and 0.186 for yield. Using four multivariate distance criteria, 15 families were identified as consistently similar to PdS, making them suitable for maintenance; meanwhile, selection indices highlighted high-yielding families with uniform growth cycles, which are of interest for breeding. It is concluded that the cultivar exhibits considerable variability, particularly regarding its growth cycle, and that incorporating the date of foliage fall-down as a selection criterion would contribute to its maintenance. A higher sampling intensity might allow for the detection of yield differences among the families.

Keywords: genetic breeding, onion, open pollinated variety, heritability

1. INTRODUCCIÓN

En Uruguay, la cebolla es la segunda hortaliza con mayor volumen de consumo anual (Pérez et al., s.f.) y la cuarta más comercializada en términos económicos (Observatorio Granjero, 2025). El mercado nacional se abastece principalmente con producto local, que representa más del 90% de la oferta en la mayoría de los años (Ackermann & Díaz, 2019). Históricamente el material de siembra empleado fue predominantemente local. Según estimaciones de Dogliotti y Tommasino (1991), las variedades criollas abastecían en esa época el 66% de la demanda nacional de semilla. Estas poblaciones, seleccionadas y mantenidas por los productores, fueron la base de la mayoría de los cultivares de mejoramiento desarrollados en el país, que comenzaron a ser liberados desde el año 1992 en adelante, por el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) y la Facultad de Agronomía, de la Universidad de la República (Vilaró et al., 2005).

Entre los cultivares nacionales se destacan INIA Casera, predominante en la región Norte del país, y Pantanoso del Sauce, en la región Sur, que comprende alrededor de un 80% de la producción de cebolla en Uruguay (Dirección General de Granja [DIGEGRA], 2025). Según Vilaró et al. (2005), aproximadamente la mitad del área cultivada con cebolla en la región Sur de Uruguay corresponde a Pantanoso del Sauce. A nivel nacional, la mayor parte de la cebolla producida en el país pertenece al grupo de cultivares de día intermedio (Casares, 2016), entre los cuales Pantanoso del Sauce es el más extendido (Arias Pandolfo et al., 2025). Las principales ventajas de esta variedad son su elevado rendimiento, en comparación con otros cultivares evaluados en el país, y su prolongada conservación poscosecha, que permite el almacenamiento y abastecimiento durante más de seis meses, incluyendo los meses de otoño y buena parte del invierno (Vilaró et al., 2005).

Pantanoso del Sauce es una variedad de polinización abierta (VPA), obtenida a partir de selección de variedades locales del Departamento de Canelones, liberada e inscrita en el Instituto Nacional de Semillas (INASE) en el año 2000 (Vilaró et al., 2005). Las variedades de polinización abierta se caracterizan por su diversidad genotípica (Poehlman & Sleper, 1995). Como su nombre indica, se trata de poblaciones en las que los cruzamientos se producen aleatoriamente, por lo cual existe un amplio pool genético para realizar selección, pero también se requieren consideraciones particulares para su mantenimiento (Poehlman & Sleper, 1995). Además, existen otros factores que dificultan el mejoramiento de cultivares de polinización abierta, como la baja heredabilidad de caracteres cuantitativos de interés, como el rendimiento, los mecanismos genéticos complejos que actúan y la interacción genotipo-ambiente. Sin embargo, estos cultivares presentan las ventajas de mayor adaptabilidad general a diferentes ambientes y menor costo (Pike, 1986). Estos elementos aportan a las VPA un gran valor en el contexto regional y global actual, de homogeneización de la producción agropecuaria, con el riesgo para la seguridad alimentaria que esto implica.

Desde su liberación, Pantanoso del Sauce es mantenido por el Centro Regional Sur mediante selección de bulbos por tamaño, forma y color (N. Curbelo, comunicación personal, 11 de febrero, 2026). Este procedimiento es eficaz para los caracteres visibles en el bulbo, pero no controla directamente otros atributos de importancia agronómica, como la duración del ciclo o la uniformidad de la bulbificación, que, en una población de polinización abierta, pueden variar con el tiempo (Poehlman & Sleper, 1995). Además, no existen trabajos recientes que caractericen la variabilidad genética presente dentro del cultivar a nivel de familias.

La evaluación de familias de medios hermanos permite estimar qué parte de la variación observada tiene base genética y seleccionar materiales, tanto para preservar las características del cultivar como para identificar germoplasma de interés para el mejoramiento (Poehlman & Sleper, 1995). En este contexto, se planteó como hipótesis la existencia de variabilidad genética significativa entre familias de medios hermanos de Pantanoso del Sauce, especialmente en caracteres fenológicos no considerados en la selección de mantenimiento, y que esta variabilidad permite identificar familias apropiadas para el mantenimiento del cultivar y familias promisorias para el mejoramiento.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Caracterizar la variabilidad genética presente en el cultivar de cebolla Pantanoso del Sauce mediante la evaluación de familias de medios hermanos, con el fin de proponer estrategias para su mantenimiento y para el programa de mejoramiento de cebolla de Facultad de Agronomía.

2.2. Objetivos específicos

- Evaluar familias de medios hermanos de Pantanoso del Sauce en variables de desarrollo vegetativo, fenología y rendimiento, y compararlas con el cultivar (PdS) y algunos testigos comerciales.

- Estimar componentes de varianza y heredabilidad de caracteres de importancia agronómica, para identificar aquellos con mayor variabilidad genética entre familias.

- Identificar familias similares a PdS, mediante criterios de distancia multivariada, adecuadas para el mantenimiento del cultivar.

- Identificar familias con características agronómicas superiores, con potencial para el programa de mejoramiento de Facultad de Agronomía.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. Producción hortícola nacional

En el Uruguay, la horticultura es un rubro de gran importancia en múltiples aspectos, entre los cuales destacan los culturales, de soberanía alimentaria, de planificación territorial e incluso de salud pública (Díaz & Achkar, 2009). Se diferencia de los sectores agropecuarios de mayor escala por una predominancia de productores locales familiares o de pequeña escala, y una alta demanda de mano de obra (Ackermann et al., 2024). Por otra parte, la inseguridad alimentaria es una problemática que afecta a uno de cada siete hogares uruguayos, y la población, en promedio, no alcanza a consumir 400 gramos de frutas y verduras frescas, cifra recomendada por la Organización Mundial de la Salud (Rieiro Castiñeira, 2025).

En 2016, año de la realización de la última Encuesta Hortícola (Oficina de Estadísticas Agropecuarias [DIEA] & DIGEGRA, 2017), el 98% de la superficie hortícola protegida y el 95% de la superficie hortícola a campo se localizaba en las regiones sur y litoral norte del país, correspondiendo la primera a los departamentos de Montevideo, Canelones, San José y Florida, y la segunda a los de Artigas, Salto y Paysandú (DIEA & DIGEGRA, 2017). La región sur concentra alrededor del 80% de la superficie hortícola nacional y el 70% del volumen de producción, mientras que el norte registra prácticamente la totalidad restante (DIEA & DIGEGRA, 2017). Ambas zonas presentan diferencias en términos de formas de producción, cultivos y fechas de siembras y cosechas, debido, principalmente, a factores climáticos: la región Norte presenta un clima continental, con menor influencia oceánica, temperaturas máximas y mínimas extremas en verano e invierno, mayor número y severidad de heladas, y mayor radiación. La zona Sur, por el contrario, se ve más afectada por la proximidad del mar: las temperaturas son más moderadas, las heladas son menos numerosas y severas, y la radiación es menor, especialmente en invierno, en comparación con el Norte (Aldabe Dini, 2000).

De la producción total censada en la zafra 2015-2016, los cultivos con mayor volumen, excluyendo la papa, fueron el tomate (23% del total), la cebolla (20%), la zanahoria (18%), el zapallo (16%), el boniato (13%), y el morrón (9%) (DIEA & DIGEGRA, 2017). Según el Censo General Agropecuario 2024, los predios hortícolas sin protección (entre los cuales se encuentran los productores de cebolla), con una superficie de cultivos menor a cinco hectáreas fueron el 76.9%, pero sólo abarcaron el 45.9% del área de su categoría (DIEA & Instituto Nacional de Estadística [INE], 2026). En cultivos protegidos, que realizan un uso mucho más intensivo de la superficie, el 77.9% de los predios cultivaron un área de una hectárea o menor, con solamente el 15.2% de la superficie de su categoría (DIEA & INE, 2026).

3.2. Situación global y nacional del cultivo de cebolla

La cebolla (*Allium cepa L.*) es un cultivo hortícola, perteneciente a la familia *Amaryllidaceae* (Yang et al., 2023), de gran importancia económica y cultural. Según las estadísticas de *FAOSTAT*, elaboradas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2025), fue la segunda hortaliza más producida del mundo en el año 2024, únicamente por detrás del tomate (información que surge de marcar en la página web los campos de cultivos primarios, el año 2024 y todas las hortalizas de la lista de cultivos). La producción anual de cebolla en ese año alcanzó 108 millones de toneladas, un 26% por encima de la producción de 2014, la cual a su vez había sido un 34% mayor con respecto a 2004. Según los datos disponibles de 2025, la República Popular China lidera el ranking de producción, con el 22.42% del total relevado, seguida de cerca por India, con el 22.41%. El resto de los países,

considerados individualmente, no alcanzan el 3%. Esta distribución internacional se ha mantenido relativamente estable a lo largo de las dos últimas décadas (FAO, 2025).

Según el Reporte Anual del Registro Nacional Frutihortícola de 2025, la cebolla es la segunda hortaliza producida a campo, en términos de área cultivada en Uruguay, únicamente por detrás del boniato (DIGEGRA, 2025). Se cultivaron 1217 hectáreas (15% del área nacional destinada a hortalizas a campo), de las cuales aproximadamente el 75% corresponde a la región Sur, y el 23%, a la región Norte (DIGEGRA, 2025). La misma fuente relevó como proyección para la zafra 2025-2026 una superficie de 1329 hectáreas a nivel nacional.

Los cultivares de cebolla empleados en nuestro país se clasifican en variedades de día corto, de día intermedio y de día largo (Arboleya et al., 2005). Las primeras, también denominadas “tempranas”, se cosechan en septiembre y octubre en la región Norte, y en noviembre en la región Sur, y tienen un menor período de conservación poscosecha que los otros grupos (Arboleya et al., 2005). Las variedades de día intermedio, entre las cuales se encuentra Pantanoso del Sauce, abastecen el mercado con cebolla fresca durante el mes de diciembre, y con cebolla conservada durante varios meses más (Campelo & Arboleya, 2005). Finalmente, las variedades de día largo son cosechadas en los meses de enero y febrero, también con varios meses de conservación poscosecha, según la variedad. La producción en la zona sur se divide, aproximadamente, en partes iguales, entre estos últimos dos tipos de cultivares, que abastecen el mercado desde su cosecha hasta muy próxima la entrada en mercado de las variedades tempranas (Vilaró et al., 2005).

En Uruguay, existe tanto importación como exportación de cebolla (Arboleya et al., 2005; *Productores hortícolas de Canelones*, 2021). Ambas son de volúmenes relativamente escasos y variables: la importación oscila entre 700 y 4000 toneladas por año (Casares, 2016; Observatorio Granjero, 2025) de una oferta total de 30000 a 35000. La exportación corresponde a volúmenes de aproximadamente 250 toneladas anuales (Porta Umpierrez, 2010).

3.3. Fisiología y fenología de la cebolla

3.3.1. Morfología

La cebolla es una especie bienal, por lo que algunos de sus órganos se desarrollan en el primer año de vida de la planta y otros en el segundo. Durante la germinación de la semilla, emerge una raíz principal, que muere tempranamente, y se desarrolla un sistema radical de tipo fasciculado y superficial (25-30 cm de profundidad). Las raíces se renuevan constantemente, reemplazando a las que van muriendo, y aumentan en número al iniciar la formación y desarrollo de bulbo (Pinzón Ramírez, 1996).

El tallo, también denominado tallo verdadero, presenta forma de disco subcónico, con entrenudos no expandidos, y forma la base del bulbo. A partir de allí se forman yemas, hojas y raíces adventicias (Chiesa & Frezza, 2018). Un segundo estado del tallo es el escapo floral, que se desarrolla a partir de la yema principal o sobre una yema lateral del tallo, que pasa de un estado vegetativo a reproductivo, y que lleva a la expresión de la floración (Chiesa & Frezza, 2018).

Las hojas presentan tres partes: una porción basal, una vaina envolvente y una lámina hueca, de sección redondeada y achatada. Cada hoja emerge entre la vaina y la lámina de la hoja anterior, a partir del tallo verdadero, de manera que las hojas exteriores, las primeras en desarrollarse, envuelven al resto (Chiesa & Frezza, 2018).

Las vainas superpuestas forman en conjunto una estructura similar al tallo de una planta, del cual brotan las “hojas” (que, en realidad, son las láminas), por lo cual este conjunto de vainas se denomina “falso tallo” (Chiesa & Frezza, 2018).

A su vez, cuando se produce la bulbificación, un conjunto de hojas modificadas, denominadas catáfilas, forman el bulbo, constituido por hasta siete catáfilas de protección, membranosas y delgadas, que son las vainas de las primeras hojas desarrolladas de la parte aérea y que comienzan a distenderse con el crecimiento del bulbo, y trece a diecisiete catáfilas carnosas reservantes (Chiesa & Frezza, 2018), aunque las cebollas de día corto sólo tienen, generalmente, entre cinco y diez. De las catáfilas reservantes, las primeras son, al igual que las protectoras, vainas engrosadas de hojas del follaje, y las más internas son hojas que comenzaron a formarse luego del inicio del engrosamiento del bulbo (Brewster, 2008).

En la segunda etapa de desarrollo, brotan nuevas hojas y escapos florales, que pueden alcanzar hasta un metro y medio de altura. En cada escapo floral se forma una umbela simple, protegida por una bráctea, con cincuenta a dos mil flores perfectas que se abren de manera irregular a lo largo de dos a más de cuatro semanas. Las flores están formadas, desde afuera hacia adentro, por un perianto, estambres y tres carpelos, cada uno con uno o dos óvulos (Chiesa & Frezza, 2018). El fruto es una cápsula compuesta por tres lóculos, cada uno con una o dos semillas rugosas y de tegumento negro (Brewster, 2008).

3.3.2. Fisiología

El ciclo de la cebolla se puede dividir en cinco fases: crecimiento vegetativo, bulbificación, dormición, brotación de bulbos y floración. Las tres primeras fases generalmente se producen en el primer año de la planta, y las dos restantes en el segundo, aunque puede haber floración durante el primer año en determinadas condiciones ambientales (Chiesa & Frezza, 2018).

El crecimiento vegetativo comienza con la germinación de las semillas, que se produce a temperaturas desde 1.4 a 3.5 °C. Hasta los 25 °C, la velocidad de germinación se incrementa linealmente con la temperatura. Inicialmente emerge la radícula, y, a continuación, el hipocótilo, formando una característica curva del cotiledón, en lo que se conoce como “fase de gancho” o “fase de ojal” (Chiesa & Frezza, 2018). En este momento aparecen las primeras raíces adventicias, y el cotiledón se eleva, pasando a una posición aproximadamente horizontal, a lo cual se denomina “fase de bandera” (G. Galván, comunicación personal, 14 de octubre, 2026). A continuación, emerge la primera hoja a través del poro del cotiledón, y posteriormente las siguientes, cada una por dentro de la anterior (Chiesa & Frezza, 2018). En los estadios iniciales, la tasa de crecimiento es baja, en comparación con otras hortalizas (Pinzón Ramírez, 1996).

A la etapa de incremento del número de hojas y expansión foliar le sigue la bulbificación o formación del bulbo. La bulbificación consiste en el engrosamiento del falso tallo por la acumulación de reservas como carbohidratos en la base de las hojas expandidas, con el aborto de láminas y el engrosamiento de las vainas de hojas aún no desarrolladas. La bulbificación es promovida por un conjunto de condiciones ambientales, entre las cuales las principales son la ocurrencia de fotoperíodo largo, con una duración mínima del día dependiente del cultivar, y temperaturas entre 25 y 30° C. Las temperaturas inferiores o superiores a ese rango retrasan la bulbificación, y las temperaturas altas disminuyen el fotoperíodo crítico para su inicio (Chiesa & Frezza, 2018). También existen otros factores que inducen este proceso, como bajas relaciones de rojo/rojo lejano en la radiación interceptada, plantas envejecidas y alto Índice de Área

Foliar (producto de manejos como alta densidad de trasplante, siembras tempranas o fertilizaciones), mientras que las condiciones opuestas promueven el desarrollo foliar (Brewster, 2008). Al principio de la bulbificación, los fotoasimilados se destinan tanto al bulbo en formación como a la parte aérea, ya que las láminas diferenciadas antes del comienzo de este proceso continúan su crecimiento. Al avanzar esta etapa, la fracción de fotoasimilados destinados a la parte aérea disminuye rápidamente hasta llegar a cero, mientras se incrementa la fracción destinada al bulbo, hasta ser éste la única fosa de la planta (Chiesa & Frezza, 2018).

La floración en el cultivo de cebolla es un proceso buscado solamente para la producción de semilla. Al comienzo de la vida de una planta, ésta se encuentra en estado juvenil, es decir, no puede ser inducida a floración hasta alcanzar cierto grado de desarrollo vegetativo (Brewster, 2008). Una vez superada la fase de juvenilidad, la planta es receptiva al estímulo de frío y la floración puede ser inducida por vernalización a temperaturas bajas, lo que provoca que el meristemo vegetativo terminal pase a reproductivo. Los requerimientos para la vernalización (horas de frío necesarias) varían según la variedad (Brewster, 2008). Este proceso es antagónico a la bulbificación, la cual, en caso de producirse, puede inhibir la elongación del escapo floral (Chiesa & Frezza, 2018), e incluso puede revertir la floración una vez iniciada, en etapas tempranas, en lo que se conoce como la etapa de competencia entre ambos procesos. En este período, el factor principal es la temperatura: si es baja, se promueve la floración, mientras que, si es alta, se promueve la bulbificación (Brewster, 2008).

3.4. Manejo del cultivo de cebolla en Uruguay

En Uruguay, el cultivo de cebolla se realiza, generalmente, mediante almácigo y trasplante, a fin de proteger las plantas de la competencia con las malezas en sus primeras etapas de desarrollo y ajustar el marco de plantación, entre otros objetivos (Arboleya, 2005). Tanto los almácigos como la instalación definitiva se realizan sobre canteros, para evitar la acumulación de agua, que favorece la aparición de problemas sanitarios. Frecuentemente se realizan en los canteros de almácigo manejos para prevenir la aparición de malezas, tales como solarización y aplicación de herbicidas preemergentes (Arboleya, 2005). Las fechas de almácigo, trasplante y cosecha varían según el cultivar empleado y la región de producción (Arboleya, 2005).

El trasplante se realiza, idealmente, cuando los plantines alcanzan el grosor aproximado de un lápiz y unos 25 centímetros de altura. Si los plantines superan esas dimensiones, se suele realizar un corte en la zona superior del follaje para eliminar el inóculo de enfermedades en esa zona, que es particularmente susceptible (Arboleya, 2005). La densidad de trasplante, en la región sur de Uruguay, oscila entre 180 y 250 mil plantas por hectárea (Arboleya, 2005).

Según Ciampitti y García (2007), el cultivo de cebolla extrae 2.5 kilogramos de nitrógeno, 0.4 de fósforo y 2.4 de potasio por cada tonelada cosechada. Con un rendimiento de 20 toneladas por hectárea (el promedio aproximado en Uruguay), se alcanzaría una extracción de 50, 8 y 48 kilogramos de N, P y K, respectivamente, por hectárea (en este trabajo, se considera extracción a los órganos cosechados). En términos de manejo en Uruguay, el aspecto más importante en la nutrición es la fertilización nitrogenada, que debe realizarse en forma adecuada para evitar diversos efectos no deseados, como enfermedades y mal cerrado de cuello, entre otros (Arboleya, 2005). Se recomienda una dosis de 25 a 40 kilogramos por hectárea de este nutriente en la etapa de almácigo, y una cantidad variable luego del trasplante, dependiendo de diversos factores (tipo de suelo, historia del cuadro, incorporación previa de restos orgánicos, entre otros; Arboleya, 2005). Luego del comienzo de la bulbificación no se aplica nitrógeno adicional, ya que puede derivar en un mal cerrado

del cuello (Arboleya, 2005). El fósforo, por otra parte, se aplica en menores cantidades en la región sur (en la región norte, las texturas livianas retienen menos nutrientes, y se requieren dosis mayores). La fertilización con potasio se realiza también según los niveles en el suelo. El control de malezas se realiza mediante métodos manuales, mecánicos y químicos. Generalmente se realiza una aplicación de herbicida preemergente previo al trasplante o poco tiempo después, que tiene un período de control aproximado de 60 días (Arboleya, 2005). En primavera se suele realizar una nueva aplicación, para controlar las malezas estivales hasta la cosecha. Esto se complementa con control manual y mecánico según lo requiera la situación (Arboleya et al., 2005).

Actualmente, la enfermedad más problemática en el cultivo de cebolla en Uruguay es *Peronospora destructor,* que se desarrolla a principios de la primavera (M. Arias, comunicación personal, 29 de septiembre, 2025). Esta enfermedad provoca pérdida de área foliar y deriva indirectamente en problemas de poscosecha, además de ser un riesgo en cultivos para semilla, ya que se transmite por esta vía (Maeso, 2005). Las variedades más empleadas son susceptibles y para su control se emplean fungicidas preventivos, como cúpricos o mancozeb, y curativos específicos. Otras enfermedades comunes son la Fusariosis, causada por *Fusarium spp.*, que aparece en la etapa de almácigo, en suelos con cultivos previos reiterados de cebolla o ajo, y *Botrytis squamosa*, que también es un patógeno relevante, aunque las principales variedades uruguayas son tolerantes a este último (Vilaró et al., 2005).

Algunas de las plagas comunes son las hormigas, principalmente durante el almácigo y las primeras etapas post-trasplante, *Diabrotica speciosa* (San Antonio verde) y, en algunas primaveras secas, los trips (*Thrips tabaci* Lind.), que llegan a causar daños considerables en las variedades de ciclo largo (Paullier, 2005).

La cosecha se realiza generalmente empleando el criterio del porcentaje de vuelco, en rangos desde 30 a 70%. Cosechas más tempranas (con menor vuelco) pueden derivar en un menor rendimiento, pero reducen la incidencia de enfermedades de poscosecha (Carballo & Maeso, 2005). Existen predios con mayor y menor grado de tecnificación, pero lo más frecuente es el uso de una cuchilla por debajo de los bulbos, que corta las raíces, y la posterior recolección manual (Carballo & Maeso, 2005). En algunos predios, se han incorporado cosechadoras integrales (G. Galván, comunicación personal, 14 de octubre, 2026).

Posteriormente, se realiza el curado, que consiste en dejar las plantas arrancadas (con bulbos y follaje) sobre los canteros durante unos veinte días, con los bulbos cubiertos por las hojas, para lograr el secado y asegurar un buen cerrado de cuello. A continuación, se procede a su distribución para consumo fresco, o bien, en variedades intermedias y de día largo, al almacenamiento poscosecha, que se realiza en galpones o en cámaras de frío (Carballo & Maeso, 2005).

3.5. Importancia de las variedades criollas

En general, se emplean indistintamente las expresiones “variedad criolla”, “variedad local” y “población local”. INASE define “variedad criolla” de la siguiente manera:

> una población local seleccionada y mantenida por agricultores en una determinada localidad de Uruguay, durante al menos 15 ciclos productivos. La Variedad Criolla puede haber partido de cultivares registrados o no, cuya historia de mantenimiento varietal y adaptación agronómica a las condiciones locales de producción es conocida. La Variedad Criolla debe diferenciarse claramente del

> cultivar original y de cualquier otro cultivar notoriamente conocido. (Instituto Nacional de Semillas [INASE], 2014, p. 1)

La principal diferencia entre este tipo de materiales y los cultivares de mejoramiento es que los primeros no estuvieron sujetos a procedimientos formales de mejoramiento genético, sino a procesos informales de selección y mantenimiento por parte de los propios agricultores. Las variedades criollas se asocian a sistemas de producción tradicionales, presentan cierta adaptación a las condiciones ambientales y de demanda de cada región, y son muy diversas genotípica y fenotípicamente (FAO, 2020). Esta última característica determina su valor como recursos fitogenéticos de gran interés para los programas de mejoramiento. Además, las variedades criollas son materiales muy relevantes en el contexto de la producción orgánica (Romo-Pérez et al., 2026), debido a una mayor adaptación a este tipo de manejos, en comparación con los cultivares de mejoramiento, que son desarrollados para situaciones de manejos sanitarios convencionales, con control químico de malezas, enfermedades y plagas. Otros aspectos de las variedades criollas valorados en el contexto de la producción orgánica y agroecológica son la importancia simbólica y cultural, y la independencia alimentaria asociada a estos materiales (Cuadro Ghan et al., 2024).

En la horticultura uruguaya, las variedades criollas tienen una gran importancia como recursos fitogenéticos empleados para la obtención de cultivares, o directamente como materiales de siembra. El primer caso lo encontramos, como ejemplo prototípico, en el cultivo de cebolla, lo cual se desarrollará más adelante, y también en ciertas variedades de otros cultivos, como el ajo valenciano (Giménez et al., 2014). Por otra parte, las variedades criollas se emplean como material de siembra, entre otros cultivos, en la zanahoria, concretamente en las siembras de verano, por su buena tolerancia a las altas temperaturas y al déficit hídrico en las primeras etapas del cultivo (Galván et al., 2005).

Debido a la diversidad genética que presentan, las variedades criollas suelen ser heterogéneas en algunas características de interés. Esto ocurre en variables como uniformidad de producto y de fecha de cosecha, atributos de calidad (por ejemplo, la médula de color claro en las zanahorias criollas) u otros inconvenientes en el producto, por ejemplo, en las paredes de fruto delgadas en morrón (Galván et al., 2005).

3.6. Mejoramiento y conservación

3.6.1. Mejoramiento genético de cebolla

En términos de biología reproductiva, la cebolla es una especie principalmente de polinización abierta, con una marcada depresión endogámica (Shigyo & Kik, 2008). Los cultivares desarrollados son híbridos o variedades de polinización abierta (VPA), estas últimas, predominantes en Uruguay (Vilaró et al., 2005).

Las VPA se caracterizan por ser variedades mantenidas y multiplicadas mediante el cruzamiento aleatorio de las plantas de la población. Esto determina un alto grado de heterogeneidad genética, siendo prácticamente imposible la existencia de dos plantas genéticamente idénticas (Poehlman & Sleper, 1995). Estos materiales presentan una mejor adaptación a distintos tipos de estrés, gracias a su diversidad genética, además de un mantenimiento mucho más barato y simple (Pike, 1986). Su principal inconveniente es la dificultad para mantener, a lo largo del tiempo y en el conjunto de la población, las características deseables alcanzadas mediante la selección (Brewster, 2008). Por otro lado, los híbridos presentan otras ventajas, tales como la mayor protección varietal por parte del mejorador (solamente pueden obtenerse comprando la semilla), mayor uniformidad y mayor facilidad para predecir valores

genotípicos, a causa de la homocigosis de las líneas endocriadas parentales, contra la desventaja que supone su alto costo de mantenimiento (Shigyo & Kik, 2008). Las VPA requieren procesos continuos de selección para el mantenimiento de sus características deseables (Brewster & Rabinowitch, 1990), y evitar problemas como floración en el primer año, bulbos dobles, pérdida de formas de bulbo y menor dormancia. La polinización abierta favorece a los materiales genéticos de mayor producción de semilla que, por ejemplo, puede correlacionar con la presencia de bulbos dobles, ya que éstos tienden a producir más de un escapo floral, incrementando el pool genético perjudicial, en términos de calidad de bulbo, dentro de la población, si no se realiza un mantenimiento varietal adecuado (Brewster & Rabinowitch, 1990).

Según Brewster y Rabinowitch (1990), las características universalmente deseables en el cultivo de cebolla son uniformidad en parámetros de calidad del bulbo, alto rendimiento, fecha de maduración adecuada, tolerancia a enfermedades y plagas, resistencia a la floración, catáfilas externas sanas, cuello estrecho, bulbos de centro único y pulpa firme. Otros, como el grado de pungencia o la forma de bulbo buscados, son más variables, según las preferencias de consumidores. Por otra parte, los cultivares que, como en el caso de Pantanoso, se producen parcialmente para conservación, requieren una dormancia prolongada y cáscaras firmes (Vicente et al., 2010).

Los principales métodos de mejoramiento de la cebolla son la selección masal, la selección por líneas (ya sea de medios hermanos o por autofecundación) y el desarrollo de híbridos F1 (Brewster, 2008). Para variedades de polinización abierta, únicamente los dos primeros son de interés: la selección masal consiste en la selección de bulbos individuales con caracteres deseables, siendo los principales el color, la forma y el tamaño (Brewster, 2008). La selección masal se caracteriza por ser un método sencillo, de bajo costo y con una respuesta a la selección considerable en materiales poco mejorados previamente, pero sin grandes resultados luego de algunos ciclos de selección (Brewster, 2008). La selección por líneas consiste en endocriar materiales (por autopolinización o por polinización sucesiva de medios hermanos entre sí) durante algunas generaciones y, posteriormente, seleccionar entre ellos por las características de cada línea (no por bulbos individuales, como en la selección masal), para luego permitir que las líneas seleccionadas se polinicen abiertamente. Esta secuencia de endocría y cruzamientos puede repetirse durante algunos ciclos (Brewster, 2008).

La respuesta obtenida a la selección es variable según la característica de interés y según el número de genes que la controlan (Poehlman & Sleper, 1995). Las variables cualitativas generalmente son controladas por pocos genes. El color de bulbo, por ejemplo, es controlado por 6 *loci* y sus interacciones (Mahajan & Gupta, 2023), y es una variable poco influenciada por el ambiente, por lo cual es esperable que la selección por este carácter sea efectiva. Las características cuantitativas están controladas por muchos *loci* y, en gran medida, por el ambiente.

Un indicador útil para comprender en qué medida la selección para una determinada variable se traducirá en una mejora poblacional para esa variable es la heredabilidad. Según Bernardo (2002), la heredabilidad puede considerarse en sentido amplio (H^2) o en sentido estricto (h^2). La primera refiere a la proporción de varianza debida a todos los efectos genéticos (aditivos, de dominancia y de epistasis) en la varianza fenotípica total, y es útil en el caso de propagación clonal o líneas puras homocigotas, en las cuales todo el genotipo es transmitido a la descendencia. La heredabilidad en sentido estricto refiere a la proporción de varianza aditiva, es decir, variabilidad debida a efectos individuales de alelos, en la varianza fenotípica total para una característica. Ésta última es aplicable a los materiales propagados por reproducción cruzada, ya que cada individuo parental transmite a su progenie alelos, y

no *loci* completos ni grupos de *loci* completos. Al ser una relación de varianzas, la heredabilidad de una característica en una especie particular no es un valor universal, sino que depende de los efectos ambientales y genéticos que afectan a cada experimento específico (Fehr, 1987).

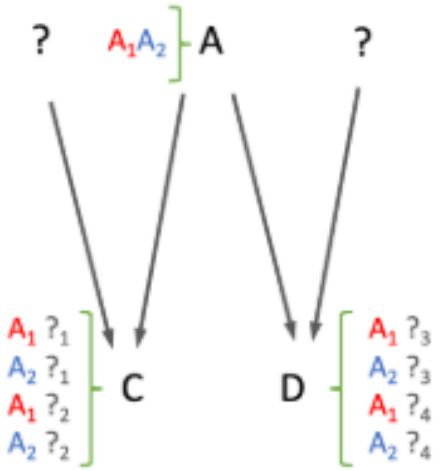
Otro tipo de heredabilidad, con interés para la selección de grupos emparentados específicos, es la heredabilidad de familia, que estudia las diferencias entre los promedios de familias (no de plantas, como la anteriormente descrita) y el promedio poblacional del experimento, para determinar qué proporción de esa diferencia es ambiental y qué proporción se debe al efecto de la familia (Hallauer & Miranda, 1981).

En lo referente al mejoramiento genético, la heredabilidad es un parámetro de interés porque representa la pendiente de la recta de regresión entre el valor fenotípico de un individuo (en el caso de la heredabilidad a nivel de individuo) y su valor de cría (Naya et al., 2026), es decir, en qué medida el desvío fenotípico de un individuo con respecto a la media poblacional coincide con un desvío de su valor genético transmisible a la progenie (aditivo o genotípico total, según el tipo de reproducción), con respecto a la media poblacional. En esa ecuación particular, por otra parte, la heredabilidad también puede interpretarse como el coeficiente de determinación R^2 de la misma regresión. Es decir, un valor elevado (cercano a 1) indica una mayor precisión al calcular el valor de cría de un individuo a partir de su valor fenotípico.

La varianza aditiva, requerida para calcular las heredabilidades descritas, puede obtenerse con un diseño experimental apropiado. Para el caso de medios hermanos, la covarianza fenotípica es ¼ de la varianza genética aditiva, ya que la mitad de los alelos provienen del polen que originó a cada individuo (que se asumen diferentes), y, de la mitad materna restante, es esperable que compartan la mitad (Naya et al., 2026). Por lo tanto, un cuarto del total de los alelos de dos medios hermanos tomados al azar, en promedio, aparecen en ambos, por la segregación aleatoria durante la meiosis (Figura 1). Por lo tanto, y debido a que los caracteres cuantitativos son determinados generalmente por un gran número de *loci*, es razonable asumir que la varianza entre familias es un cuarto de la varianza aditiva. Por otra parte, los efectos de dominancia se deben a particularidades en la combinación de alelos en un mismo *locus*, y los de epistasis, a interacciones entre *loci* (es decir, diferencias con respecto a los efectos de dominancia esperados). Se asume que dos medios hermanos no comparten ningún alelo paterno, por lo que no existe covarianza debida a estos dos últimos efectos. Además, la covarianza ambiental entre medios hermanos también se asume nula. A partir de esto, la varianza aditiva se calcula multiplicando por cuatro la covarianza entre plantas de una misma familia, siendo esa covarianza entre medios hermanos equivalente a la varianza entre familias (Naya et al., 2026).

Figura 1

Esquema de posibles genotipos de medios hermanos (C y D) que comparten un parental (A)



Nota. La esperanza de la proporción de alelos en común entre C y D es de ¼, ya que cada genotipo de C coincide en un 50% con dos de los posibles genotipos de D, y en un 0% con los dos restantes (se asume que todos los genotipos son igualmente probables). Es esperable que, para el gran tamaño del genoma de la cebolla, esto se cumpla razonablemente. Extraído de Naya et al. (2026).

3.6.2. Mejoramiento genético de cebolla en Uruguay

A nivel nacional, el cultivo se realizó principalmente mediante poblaciones locales hasta la década de 1990, y, secundariamente, mediante variedades importadas. Las poblaciones locales reunían, en general, características como buen comportamiento frente a enfermedades foliares, prolongada conservación poscosecha, pungencia media, baja uniformidad y calidad comercial defectuosa (Vilaró et al., 2005). En la década de 1980 comenzaron a realizarse trabajos de colecta, descripción y selección a partir de estas variedades criollas (Vilaró et al., 2005). El primer cultivar nacional de relevancia fue INIA Casera, liberado en 1992, mientras que el primer cultivar liberado por Facultad de Agronomía fue Pantanoso del Sauce-CRS, en el año 2000 (Vilaró et al., 2005). Estos son los dos principales cultivares de cebolla en Uruguay, predominando el primero en la zona norte del país, y el segundo en el sur (Vilaró et al., 2005). A septiembre de 2025, existen 54 cultivares de cebolla en el Registro Nacional de Cultivares, de los cuales 7 están protegidos y 47 son públicos (INASE, s.f.). El peso relativo exacto de cada cultivar en la producción de cebolla uruguaya es desconocido, ya que no se ha publicado ningún informe nacional con esta información, existiendo sólo algunas estimaciones en relación a Pantanoso del Sauce e INIA Casera.

Las características consideradas en el mejoramiento genético en Uruguay son, principalmente, el rendimiento, la calidad de bulbo (cerrado de cuello, forma y color; Dogliotti & Tommasino, 1991), la fecha de cosecha y la tolerancia a enfermedades. En relación a esto último, en la década de 1990 el mejoramiento se centraba en la tolerancia a *Botrytis squamosa*, característica que comparten los dos cultivares principales (Pantanoso del Sauce e INIA Casera; Vicente et al., 2010). A partir de 2006, se comenzó a considerar también la tolerancia al mildiu provocado por *Peronospora destructor*, tanto por cruzamiento con materiales de origen extranjero (el caso de Armonía CRS) o a partir de poblaciones locales, como ocurrió con INIA Valenciana (Vicente et al., 2010).

3.6.3. El cultivar Pantanoso del Sauce-CRS

Pantanoso del Sauce-CRS es una variedad de polinización abierta (VPA), liberada por Facultad de Agronomía, obtenida a partir de poblaciones cultivadas en el Departamento de Canelones. A esa población original se le realizaron dos ciclos de autofecundación, con selección entre y dentro de líneas en cada uno, seguida de cruzamientos entre las líneas obtenidas y selección masal estratificada (Vilaró et al., 2005). Su ciclo se considera intermedio o semitardío, con fecha de siembra óptima en el mes de abril, y de trasplante en julio-agosto. Presenta porte semierecto, desarrollo vegetativo vigoroso, y gran cerosidad en las hojas. Probablemente ligado a esto último, presenta tolerancia media a *Botrytis squamosa*, aunque es susceptible a *Peronospora destructor* (Vicente et al., 2010). La bulbificación comienza a fines de octubre o principios de noviembre, y el vuelco al 50% ocurre a mediados de diciembre (Centro Regional Sur, 2000). El bulbo presenta forma esférica a levemente alargada en la base (trompo), y un gran tamaño en comparación con otras variedades, pudiendo alcanzar los 250 o 300 gramos en condiciones adecuadas. Su pungencia es alta, y su conservación poscosecha alcanza los 4-6 meses debido, entre otros factores, a una menor incidencia de pudriciones bacterianas, al buen cerrado de cuello del cultivar y al retraso en la brotación, en comparación con las variedades locales, que ocurre al 50% en agosto (Centro Regional Sur, 2000). Se destaca por su elevado rendimiento, tanto en ambientes favorables como desfavorables (Centro Regional Sur, 2000). Desde su liberación, el cultivar es mantenido por el Centro Regional Sur, mediante selección de bulbos por tamaño y atributos de calidad, como color y morfología.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Sitio experimental

El ensayo se instaló en la Unidad de Horticultura del Centro Regional Sur, ubicado en el Municipio de Progreso, en el Departamento de Canelones, sobre un suelo de tipo vertisol háplico típico. Este tipo de suelos, frecuentes en la región sur, se caracterizan por altos contenidos de materia orgánica y arcilla (Altamirano et al., 1976). A pocos kilómetros del Centro Regional Sur se encuentra la estación experimental INIA Las Brujas, de cuyo sitio web se obtuvo la información agroclimática (INIA, 2025), presentada en la Tabla 1. En ese sitio web, se seleccionó la estación INIA Las Brujas, y los datos de precipitación mensual, temperaturas máxima, mínima y media y radiación solar en los meses de abril a diciembre. Esto se realizó, por un lado, para el año del experimento (2025) y, por otro lado, para los años 2015 a 2024 inclusive, calculando promedios para cada mes con los datos de esos diez años. Comparando las condiciones del año del experimento con el promedio histórico de los últimos diez años, se observa que fue un año más seco de lo normal (593 mm de lluvia contra 786, en los meses del cultivo). Existieron diferencias en este sentido durante todo el invierno, y también en el mes de diciembre. La radiación promedio fue un poco superior en el año del experimento (354 contra 338 cal/cm²/día en los meses del cultivo) y las temperaturas promedio fueron algo menores durante el otoño, y bastante similares durante el resto del ciclo. Las temperaturas mínimas fueron, en general próximas al promedio histórico, al igual que las máximas, con la excepción de diciembre.

Tabla 1

Condiciones agroclimáticas en INIA Las Brujas, para los meses del experimento

Mes	Precipitación mensual (mm)	T. máxima (ºC)	T. mínima (ºC)	T. Media (°C)	Radiación (cal/cm²)
Abril	57 (90)	21 (23)	11 (13)	15 (18)	320 (295)
Mayo	151 (112)	20 (19)	10 (9)	14 (14)	213 (210)
Junio	57 (70)	15 (16)	4 (6)	9 (11)	194 (173)
Julio	38 (78)	16 (15)	5 (6)	10 (11)	199 (189)
Agosto	68 (121)	18 (17)	7 (7)	12 (12)	268 (256)
Septiembre	50 (72)	19 (19)	8 (8)	14 (14)	377 (350)
Octubre	78 (80)	23 (21)	11 (10)	17 (16)	464 (437)
Noviembre	87 (63)	25 (25)	12 (13)	19 (19)	552 (548)
Diciembre	7 (100)	31 (28)	17 (15)	24 (22)	597 (586)

Nota. En cada columna se ubica a la izquierda el dato del año 2025, y entre paréntesis el promedio histórico 2015 - 2025 (INIA, 2025).

4.2. Material vegetal

El material vegetal estudiado fue un grupo de 78 familias de medios hermanos, obtenidas de la población de Pantanoso del Sauce, en el Centro Regional Sur, de la Facultad de Agronomía. En el año 2024, a partir de la población de este cultivar empleada para el mantenimiento varietal y la producción de semilla, se seleccionaron 100 bulbos por características de tamaño y calidad (forma y color), se cultivaron y se cosecharon sus semillas, conservando por separado las provenientes de cada bulbo, es decir, las 100 familias de medios hermanos.

Los testigos utilizados fueron Armonía CRS, Pantanoso del Sauce (en este trabajo se referirá a este testigo como PdS, compuesto por semillas del cultivar cosechadas a granel) y Yakama, una variedad híbrida, propiedad de la empresa Bejo, de origen neerlandés. Cada uno de los tres testigos fue incluido en dos parcelas dentro de cada bloque, quedando los bloques integrados por 78 parcelas correspondientes a familias de medios hermanos y 6 parcelas correspondientes a testigos.

4.3. Diseño experimental

El diseño experimental utilizado en el ensayo fue de Bloques Completos al Azar (DBCA), con tres repeticiones, situadas en los sectores topográficamente alto, medio y bajo, respectivamente, del cuadro destinado al ensayo (Figura 2), dado que el cuadro presenta una pendiente de alrededor del 4% en dirección al este.

Cada bloque alojó 84 unidades experimentales, cada una con 1.6 metros de ancho (distancia entre canteros) por dos metros de longitud. Las unidades experimentales fueron parcelas compuestas por 60 plantas de una familia o testigo (es decir, con una densidad de trasplante de 18.75 plantas por metro cuadrado), en tres surcos de veinte plantas, separadas por 10 cm entre plantas y 10 cm entre surcos. De las 84 parcelas, 78 se destinaron a familias de medios hermanos (se asignó a cada una un número para su identificación), y en las seis restantes se incluyeron los tres testigos, cada uno en dos parcelas por bloque. Se aleatorizaron todas las ubicaciones dentro de cada bloque, de manera que el cuadro de ensayo quedó como indica la Figura 3.

Figura 2

Vista satelital del cuadro de ensayo y ubicación de los tres bloques del experimento



Nota. Adaptado de Google (2026).

Figura 3

Croquis del experimento luego del trasplante para las familias de medios hermanos y testigos

Bloque 3	59	78	44	62	75	31	76	39	13	41	74	10
	32	27	18	9	PdS	53	22	60	19	65	5	47
	3	Yakama	26	29	24	46	72	50	Armonía	28	40	30
	Armonía	38	42	54	6	66	70	55	77	71	7	16
	48	45	1	23	52	12	51	15	4	37	57	14
	68	43	34	64	58	20	56	73	21	49	Yakama	8
	63	11	61	36	33	25	67	PdS	2	35	17	69
Bloque 2	24	60	59	36	34	28	29	39	56	61	62	77
	72	10	23	Yakama	42	19	54	31	18	50	3	17
	6	58	30	57	9	11	35	15	53	78	65	67
	14	45	52	12	51	Armonía	33	8	27	20	Armonía	74
	Yakama	73	63	41	70	69	32	37	21	76	66	1
	40	26	55	49	64	2	PdS	22	44	25	7	38
	16	71	75	5	43	13	46	4	47	PdS	68	48
Bloque 1	16	71	67	5	45	13	46	4	37	68	48	40
	1	11	35	Yakama	62	75	28	27	6	63	57	64
	26	17	3	52	36	Armonía	31	51	33	61	42	14
	78	66	23	58	49	8	30	65	74	10	9	44
	12	18	38	24	39	72	15	60	59	PdS	47	69
	29	34	7	21	25	43	50	76	77	19	55	41
	PdS	Armonía	Yakama	73	53	32	54	22	2	70	20	56

4.4. Manejo del experimento

El día 24 de abril de 2025 se sembraron los almácigos de las 100 familias de medios hermanos y de los tres cultivares definidos como testigos, en canteros previamente solarizados, y se instalaron las cintas de riego (Figura 4). Se identificó por separado cada material.

Figura 4

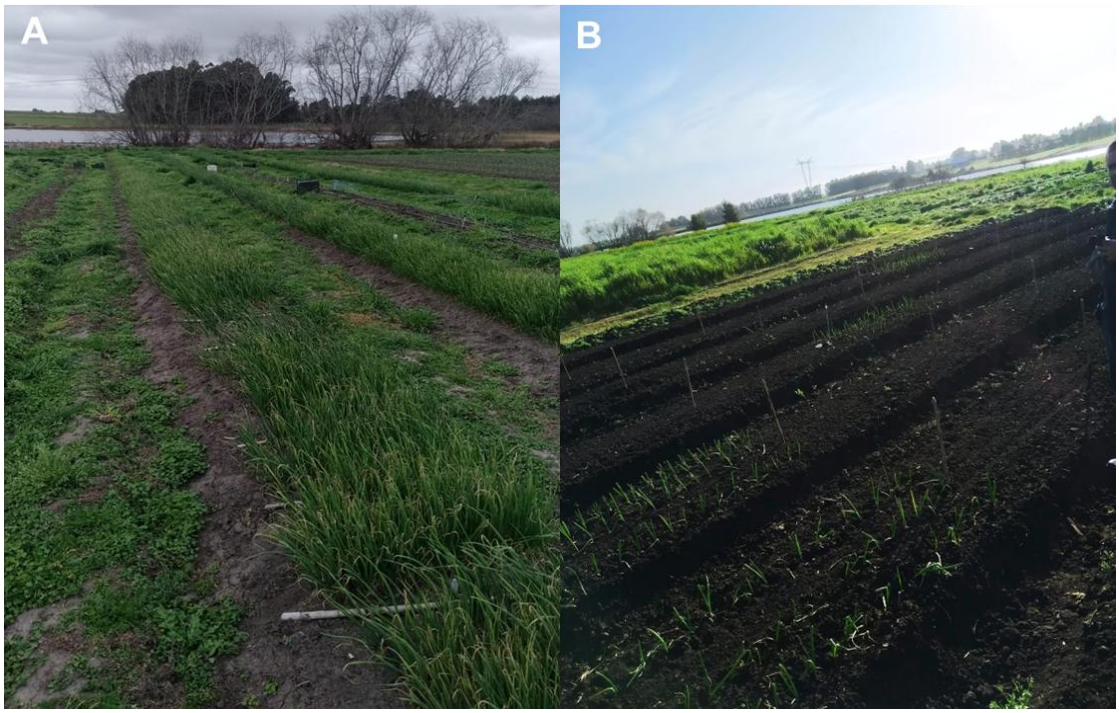
Fotografía de los almácigos cuatro días después de la siembra, con familias delimitadas e identificadas



Los días 14, 15 y 18 de agosto se realizaron los trasplantes de los bloques 1, 2 y 3, respectivamente (Figura 5), previa aplicación del herbicida Galigan 240 CE, cuyo principio activo es oxifluorfen, en una concentración de 1 L/ha. En los cuatro márgenes del ensayo se trasplantaron indistintamente plantas sobrantes del almácigo, que no fueron evaluadas.

Figura 5

Fotografías del trasplante de familias y testigos en el ensayo a campo

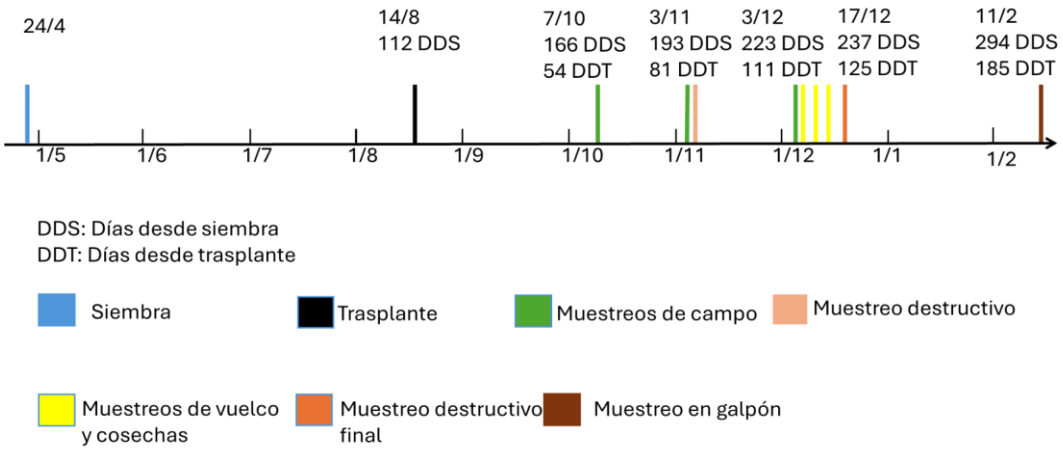


Nota. **A:** canteros con almácigos al momento de trasplante, a los 113 días post-siembra (13/8). **B:** cuadro del ensayo definitivo durante el trasplante, a los 118 días post-siembra (18/8).

En el mes de septiembre se realizaron aplicaciones de Linurex (herbicida cuyo principio activo es Linurón) a 1 l/ha y urea a 100 kg/ha. El día 3 de octubre se realizó un control manual de las malezas de mayor tamaño. El día 20 del mismo mes se aplicó urea nuevamente. Las aplicaciones de fungicidas se realizaron según monitoreos sanitarios semanales. El 23/10 se aplicó una mezcla de Mancozeb (1 kg/ha), cobre rojo (1 kg/ha) y fosfito de potasio (1.5 l/ha). El 26/10 se aplicó una mezcla de herbicidas oxifluorfen (0.35 l/ha) y cletodim (1 l/ha). El conjunto de las actividades y muestreos se representa en la Figura 6.

Figura 6

Línea temporal de actividades durante el experimento, desde la siembra hasta el último muestreo (galpón)



4.5. Determinaciones

4.5.1. Germinación inicial

A los 32 días de la siembra (26/5) se evaluó la germinación de todas las familias. Dado el diseño experimental elegido (tres bloques completos, cada uno con sesenta plantas de cada familia), fue necesario un mínimo de 180 plantas por familia de medios hermanos. Se concluyó que en 78 de las 100 familias había plantas suficientes para ser incluidas en el experimento, mientras que las restantes 22 familias serían trasplantadas en los bordes. Con respecto a los testigos, se alcanzó en los tres casos el número de plantas requerido (el doble del necesario para cada familia de medios hermanos).

4.5.2. Mediciones en planta durante ciclo del cultivo

Dentro de cada parcela, se marcaron aleatoriamente cinco plantas a fin de realizar en las mismas los tres muestreos de campo (evaluaciones no destructivas), el muestreo destructivo final y el muestreo de galpón. Las cinco plantas marcadas por parcela se seleccionaron únicamente de la fila central, por ser las que evidenciarían mayores efectos de la competencia.

En los días 53 a 55 post-trasplante (7/10, 8/10 y 9/10) se realizó el primer muestreo de campo en los bloques 1, 2 y 3 respectivamente. Un mes después, en los días 80 y 92 post-trasplante (2/11 y 14/11) se realizó el segundo muestreo, para el bloque 1 en la primera fecha, y para los dos restantes en la segunda. Finalmente, el último muestreo de campo se realizó a los 111 días post-trasplante (3/12), para los tres bloques.

Durante el mes de noviembre, en los días 83 y 89 post-trasplante (5/11 y 11/11), cuando se estima que comienza la bulbificación, se realizó el muestreo destructivo (Figura 7), en el bloque 1 en la primera fecha, y en los bloques 2 y 3 en la segunda.

Figura 7

Dos plantas de una parcela durante el muestreo destructivo, a los 83 DDT (5/11)

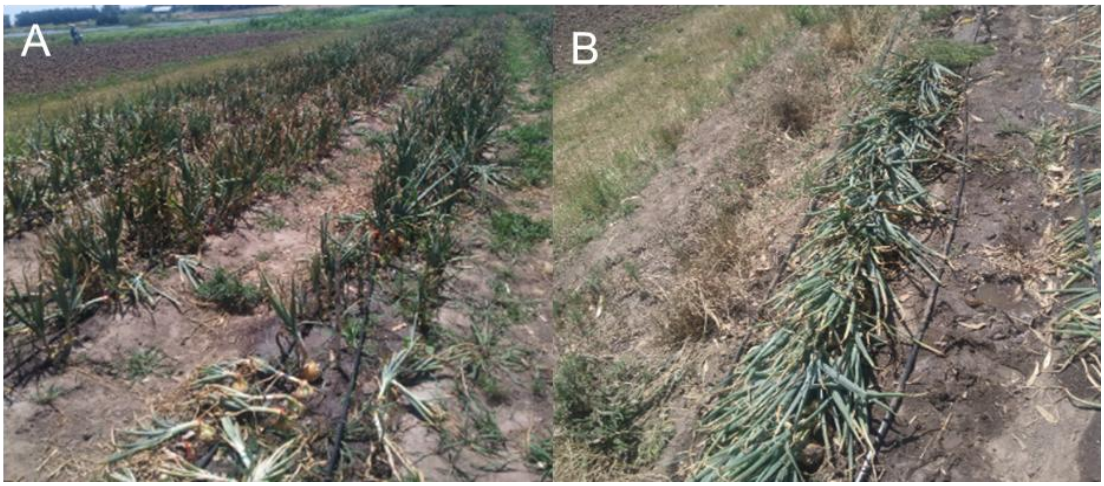


4.5.3. Mediciones de vuelco y cosecha

Se realizaron muestreos de vuelco los días 113, 119 y 125 post-trasplante (5/12, 11/12 y 17/12 respectivamente), y el muestreo destructivo de cosecha los días 126, 127 y 130 post trasplante (18, 19 y 22 del mismo mes) para los bloques 1, 2 y 3 respectivamente. La cosecha se realizó en el período del 5 al 17 de ese mes (Figura 8), en cada parcela en la cual se detectara un mínimo de 60% de vuelco. El día 17/12 se cosecharon todas las parcelas que restaban, hubieran alcanzado o no el porcentaje de vuelco mencionado. Las plantas cosechadas destinadas al muestreo destructivo final se trasladaron a una cámara de frío (manteniendo en cada una la identificación de la planta, la familia y el bloque correspondiente), a la espera de dicho muestreo. Las restantes se dejaron engavilladas en el campo hasta la primera semana de enero, cuando se transportaron al galpón destinado a su almacenamiento.

Figura 8

Fotografías de parcelas del experimento a los 119 DDT (11/12)



Nota. **A:** Parcelas en evaluación, con algunas plantas ya volcadas. **B:** Parcela de borde, cosechada y engavillada.

4.5.4. Mediciones en galpón

El muestreo de poscosecha en galpón se realizó los días 180, 182 y 194 post trasplante (10, 11 y 24 de febrero) para los bloques 1, 2 y 3 respectivamente, luego de un período de almacenamiento en ese lugar de aproximadamente un mes.

4.5.5. Resumen de variables evaluadas

Para simplificar las referencias a las variables del experimento, se nombrará a cada una según las abreviaturas descritas en la Tabla 2, seguido de un guion bajo (_) y a continuación la abreviatura correspondiente al muestreo (Tabla 3). Por ejemplo, NH_M54 corresponde al número de hojas en el muestreo de campo realizado a los 54 días post-trasplante.

Tabla 2

Detalle de las variables de estudio, instrumentos y métodos empleados para su evaluación

Abreviatura	Instrumento empleado	Nombre y metodología
NH	-	**Número de hojas**: Se muestreó el número de hojas por planta con una precisión de 0.5, considerando como una hoja completa a la que presentaba tejido verde en una longitud mayor a 10 cm, y media hoja a las que no alcanzaban dicho largo. Variable discriminada por días post trasplante del muestreo como NH_M54, NH_M85 y NH_M111, en muestreos de campo, y como NH_N y NH_C, para muestreo destructivos de noviembre y en cosecha respectivamente.

A	Regla (precisión de 1 cm)	**Altura máxima de follaje**: Se midió la altura desde el suelo hasta el extremo con tejido verde más alto de las hojas. Variable discriminada por días post trasplante del muestreo como A_M54, A_M85 y A_M111, en muestreos de campo, y como A_C para muestreo destructivo de cosecha.
DB	Calibre (precisión de 0.1 cm)	**Diámetro mayor de bulbo:** Se midió el diámetro ecuatorial o máximo de bulbo. Discriminado como DB_N y DB_C, para muestreos destructivos de noviembre y cosecha respectivamente.
DC	Calibre (precisión de 0.1 cm)	**Diámetro de cuello:** Se midió el diámetro del cuello o falso tallo. Discriminado como DC_N y DC_C, para muestreos destructivos de noviembre y cosecha respectivamente.
IB	-	**Índice de bulbificación:** Cociente entre DB y DC. Discriminado como IB_N e IB_C para muestreos destructivos de noviembre y de cosecha respectivamente.
PB	Balanza (precisión de 0.1 gramo).	**Peso de bulbo:** Se pesó individualmente cada bulbo muestreado. Discriminado como PB_N y PB_C para muestreos destructivos de noviembre y de cosecha respectivamente.
IAF	Balanza (precisión de 0.1 gramo), regla (precisión de 1 cm)	**Índice de área foliar:** Se estimó cortando, para cada planta muestreada, un fragmento de hoja, calculando su superficie y pesándola, para luego pesar toda el área foliar de la planta y calcular su área, asumiendo la misma relación peso/superficie del fragmento de hoja. Finalmente, se multiplicó esa área obtenida por 18.75 (la cantidad de plantas por metro cuadrado con la densidad empleada).
V	-	**Porcentaje de plantas volcadas:** Se contabilizó en cada parcela la cantidad de plantas volcadas (no se incluyeron las que presentaban follaje senescente sin vuelco), y se calculó el porcentaje sobre el número de plantas vivas en la parcela Discriminado como V_V113, V_V119, y V_V125, según los días post-trasplante de realización de cada muestreo.
SV	-	**Semana de vuelco:** Previo a la cosecha se marcaron, entre las cinco plantas por parcela de los muestreos de campo, las volcadas, identificando la semana de vuelco en cada una, y ese dato se registró durante el muestreo destructivo final. El número 1 refiere a la primera semana de diciembre, el 2 a la segunda el 3 a la tercera, y el 4 a las plantas que no llegaron a volcar al momento de la cosecha final.
Y	Balanza (precisión de 0.1 gramo)	**Rendimiento estimado:** Se pesaron conjuntamente los bulbos de las cinco plantas estudiadas de cada parcela. Ese valor obtenido se consideró como el peso de cinco bulbos, y se convirtió a rendimiento en toneladas por hectárea, estimando 187500 plantas por hectárea.

Tabla 3

Muestreos realizados en el experimento, con variables evaluadas, unidades de muestreo, fechas y frecuencias

Tipo de muestreo	Variables evaluadas	Unidad de muestreo	Días desde trasplante	Frecuencia
De campo (M)	NH, A	Cada una de las cinco plantas, marcadas en cada parcela, en fila central	1°: 53-55 2°: 81-92 3°: 111	Mensual
Destructivo en noviembre (N)	NH, DB, DC, PB, IB, IAF	Dos plantas por parcela, seleccionadas de la fila central	83-89	Una única vez
Vuelco (V)	V	Cada parcela en conjunto	1°: 113 2°: 119 3°: 125	Semanal
Destructivo en cosecha (C)	NH, A, DB, DC, PB, IB, SV	Las mismas cinco plantas evaluadas en los muestreos de campo	126-130	Una única vez
Galpón (G)	Y	Los bulbos de las plantas de los muestreos de campo	180-194	Una única vez

4.6. Análisis estadístico

Antes de realizar el análisis estadístico, se eliminaron los datos que se alejaban de la media de su familia para cada característica por más de tres veces el desvío estándar. A continuación, se realizó un análisis descriptivo para todas las variables en estudio, en forma de tablas, con indicadores (media, desvío estándar, coeficiente de variación, mínimo y máximo) para cada uno de los cuatro tipos de materiales, considerando como tales las familias de medios hermanos en su conjunto y cada uno de los tres testigos.

Previo a realizar análisis de varianzas, se ajustaron modelos para cada variable, utilizando bloque y familia (o material, en el caso de los testigos) en las variables sin submuestreo (vuelcos y rendimiento en galpón), y añadiendo la planta dentro de la parcela como efecto aleatorio, en el caso de las que sí tenían submuestreo. A partir de esos modelos se realizaron gráficas de residuales y tests de Levene (Montgomery, 2010) y Shapiro (Shapiro & Wilk, 1965) para verificar, respectivamente, la homogeneidad de varianzas entre tratamientos y la normalidad de los residuos. En los casos en que se cumplió razonablemente estos supuestos, se ajustaron modelos lineales mixtos generales, utilizando la función *lmer*, de la librería *lme4* (versión 2.0-1, 2026) en R (versión 4.4.1, 2026). En caso contrario, se realizaron transformaciones (aplicación de logaritmos o raíz cuadrada a las variables) para intentar lograr la homocedasticidad, y en los casos en que tampoco fue posible, se emplearon modelos lineales mixtos generalizados con la función *glmmTMB* de la librería del mismo nombre, eligiendo la familia apropiada según el caso, con la función de enlace correspondiente.

Esto ocurrió en las variables NH_M54, NH_M111 y SV_C (se utilizó la familia Poisson generalizada en las tres, por ser variables discretas con subdispersión en las que los modelos Poisson clásicos no ajustan adecuadamente), PB_N (familia Gamma) y los tres vuelcos (familia Beta, dividiendo por 100 los porcentajes para tener valores en base 1, y sustituyendo los valores iguales a cero por $1x10^{-12}$, para poder ajustar el modelo sin alterar excesivamente los datos). En todos estos casos se realizaron pruebas DHARMa, con la librería del mismo nombre, para verificar la normalidad de los residuos.

Se seleccionaron cuatro variables (A_M111, IB_N, IAF_N, Y_G) por su importancia agronómica para los análisis detallados posteriores. Para cada una, con el modelo ajustado correspondiente, se calcularon medias ajustadas con la función *emmeans*, de la librería del mismo nombre (versión 2.0-3, 2026). Se realizó, para cada variable, un gráfico de medias ajustadas y errores estándar de los materiales extremos (en este caso, considerando por separado a cada familia de medios hermanos), para conocer, de manera descriptiva, las distribuciones de los materiales.

Como prueba de comparación, se realizaron tests de Dunnett, de cada material (cada familia y los testigos Armonía y Yakama) contra el testigo PdS, con el fin de detectar familias significativamente distintas del cultivar. Para esto, se utilizó la función *contrast*, también del paquete *emmeans*, con las medias ajustadas previamente, y con un nivel de confianza del 95%.

Para los análisis siguientes, se ajustaron modelos lineales mixtos generalizados, ajustados con la función *glmmTMB,* de la librería con el mismo nombre (versión 1.1-14). A través de estos modelos, se obtuvo el *Best Linear Unbiased Predictor* (BLUP), para cada material en cada variable. El modelo ajustado, con familia Gaussian (distribución normal), fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + F_i + B_j + \varepsilon_{ij} + \delta_{ijk}$$

Y_{ijk}: Valor de la variable en la familia *i,* el bloque *j*, y la planta *k*
μ: Intercepto fijo (media general de la variable)
F_i: Efecto aleatorio de la familia *i*
B_j: Efecto aleatorio del bloque *j*
ε_{ij}: Error experimental
δ_{ijk}: Error de submuestreo

Posteriormente, se utilizó la función *VarCorr*, también de la librería *glmmTMB*, para conocer la composición de la varianza en cada variable, discriminando entre varianza entre familias, varianza entre parcelas de la misma familia (error experimental), y varianza entre plantas de la misma parcela (error de submuestreo). Con estos componentes de varianza, se calculó la heredabilidad en sentido estricto de la siguiente manera:

$$h^2 = 4 * {\sigma^2}_L \,/\, ({\sigma^2}_L + {\sigma^2}_P + {\sigma^2}_e)$$

h^2: Heredabilidad individual para una característica
${\sigma^2}_L$: Varianza entre familias
${\sigma^2}_P$: Varianza entre parcelas de la misma familia (error experimental)
${\sigma^2}_e$: Varianza entre plantas de la misma parcela (error de submuestreo)

Se multiplica la varianza entre familias por cuatro, debido a la relación de parentesco entre medios hermanos mencionada previamente. Esta heredabilidad es calculada a nivel de planta o individual, ya que modela, para el conjunto de la población,

las varianzas de cada individuo con respecto a la media general, para inferir el peso relativo del componente genético. Además de la heredabilidad a nivel de planta, se calculó la heredabilidad de familia. De manera análoga a la primera, esta última descompone la varianza total en componentes, pero, en lugar de hacerlo con la diferencia entre cada planta y la media general, lo realiza con la diferencia promedio de cada familia con la media general, para determinar qué proporción de esa diferencia se debe a factores genéticos. Se obtiene con la siguiente fórmula:

$$h^2Fam = \sigma^2{}_L \,/\, (\sigma^2{}_L + \sigma^2{}_P/r + \sigma^2{}_e/(r * n))$$

h^2Fam: Heredabilidad de familia para una característica
$\sigma^2{}_L$: Varianza entre familias
$\sigma^2{}_P$: Varianza entre parcelas de la misma familia (error experimental)
$\sigma^2{}_e$: Varianza entre plantas de la misma parcela
r: Número de bloques
n: Número de plantas por parcela

Para obtener rankings de familias más similares a PdS, de interés para el mantenimiento de las características del cultivar, se calculó la distancia multivariada entre BLUPS para las cuatro variables, entre cada material y PdS. Se asignaron valores ponderados por relevancia agronómica para cada variable, de ½ para Y_G, y ⅙ para cada una de las otras tres variables. Las cuatro distancias calculadas fueron las siguientes:

- Distancia euclídea ponderada (DE): se ponderó el BLUP de cada material para cada variable por los factores de corrección por relevancia mencionados, y, con estos valores, se calculó la distancia euclídea entre cada material y PdS.
- Distancia de Mahalanobis clásica (DMC): distancia euclídea multiplicada por la matriz inversa de correlaciones, para omitir información redundante entre variables.
- Distancia de Mahalanobis ponderada (DMP): combinación de las dos previas: se corrige por correlaciones entre variables y por relevancia agronómica.
- Distancia de Mahalanobis ponderada por relevancia agronómica y heredabilidad (DMPH): similar al tercer enfoque, pero, adicionalmente, se corrige por heredabilidad de caracteres.

Se realizaron rankings de familias más similares a PdS en cada una de las cuatro distancias, se contabilizó el número de coincidencias entre cada par de rankings y se calcularon coeficientes de correlación de Spearman, para conocer el grado de coincidencia entre los distintos enfoques. Además, se calcularon las medias ajustadas de los grupos seleccionados en cada uno de los cuatro rankings. Posteriormente, se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) por correlaciones, con un gráfico biplot, incluyendo en el mismo los 81 materiales y las cuatro variables según sus coordenadas en los dos primeros componentes, y señalando las treinta familias más similares y más diferentes de PdS en la distancia de Mahalanobis clásica.

Finalmente, se realizó una selección de familias con características de interés para mejoramiento. Se asignó a cada familia un puntaje según características deseables, considerando las variables Y_G, IAF_N, la diferencia de IB_N con PdS y el coeficiente de variación estandarizado de IB_N. Este puntaje se calculó de la siguiente manera:

$$RA_i = IAF_{N_i} + 2Y_{G_i} - \frac{1}{2} D_PdS_IB_N_i - \frac{1}{4} CV_IB_N_i$$

RA_i: Puntaje por relevancia agronómica de variables de la familia i
IAF_N_i : BLUP de IAF_N de la familia i
Y_G_i: BLUP de Y_G de la familia i
$D_PdS_IB_N_i$: Diferencia absoluta estandarizada entre el BLUP de IB_N de familia i y el de PdS
$CV_IB_N_i$: Coeficiente de variación estandarizado de IB_N de la familia i

Las variables se incluyen con el objetivo de seleccionar familias con elevados valores de índice de área foliar a inicio de la bulbificación, elevados rendimientos (esto ponderado con mayor importancia), ciclos similares a PdS, y, a su vez, baja dispersión en el índice de bulbificación, es decir, con ciclos uniformes entre y dentro de familias.

Además del puntaje simple, con la fórmula anterior, se calculó otro, ponderando cada variable por heredabilidad, para combinar la selección de características deseables con una buena respuesta esperada a la selección. El cálculo de este último puntaje (relevancia agronómica de variables ponderada por heredabilidad) se realizó como indica la siguiente fórmula:

$$RAH_i = IAF_{N_i} * h^2{}_{IAF_N} + 2Y_G * h^2{}_{Y_G} - ½\, D_PdS_IB_N_i * h^2{}_{IB_N} - \frac{1}{4} CV_IB_N_{i_i} * h^2{}_{IB_N}$$

Donde se mantienen las variables de la fórmula previa, y h^2 es la heredabilidad en sentido estricto, a nivel de planta, de cada característica. Para ambos criterios se seleccionaron las 25 familias con mayor puntaje en cada uno y, a partir de cada ranking, se calcularon valores medios para las cuatro variables de interés.

5. RESULTADOS

5.1. Análisis descriptivo de resultados

5.1.1. Muestreos de campo

Para las variables NH (Tabla 4), los promedios de los cuatro materiales fueron relativamente similares en los tres muestreos. Los coeficientes de variación fueron considerablemente elevados y, en los tres materiales de VPA, se incrementaron a medida que avanzaba el ciclo. Yakama también registró una gran dispersión, a pesar de su homogeneidad genética, y fue el único material que registró un aumento entre NH_M85 Y NH_M111, mientras que los restantes mantuvieron aproximadamente o redujeron este valor en el mismo período, evidenciando la senescencia por la bulbificación avanzada. Las familias de medios hermanos mostraron una dispersión similar a los otros materiales en el primer muestreo, aunque esa dispersión se amplió en el tercero, superando a los tres testigos.

En la altura máxima de follaje, los promedios de los materiales fueron similares en el primer muestreo (Tabla 4), pero, a diferencia de los números de hojas, fueron distanciándose a medida que avanzaba el ciclo. En el segundo muestreo, Yakama registró alturas superiores a las de los otros materiales, a pesar de haber registrado valores inferiores en el número de hojas en el mismo muestreo, mientras que Armonía se ubicó en un lugar intermedio entre el híbrido y los dos materiales de Pantanoso. Las familias de medios hermanos no mostraron mayor dispersión que los testigos.

Tabla 4

Estadísticos descriptivos resumen de variables en los muestreos de campo para los diferentes materiales evaluados

Variable	Material	Media	DE	CV (%)	Min	Max
NH_M54	Familias	4.6	0.9	19.8	0.0	8.0
	PdS	4.5	1.0	21.8	2.5	6.5
	Armonía	4.6	0.7	15.9	3.0	6.0
	Yakama	4.3	0.8	17.4	3.0	6.0
NH_M85	Familias	7.2	2.2	30.5	0.0	12.5
	PdS	6.6	2.3	35.4	1.0	10.0
	Armonía	7.2	1.8	25.2	2.5	10.0
	Yakama	6.4	1.4	21.3	3.0	8.5
NH_M111	Familias	6.8	2.6	38.4	0.0	14.5
	PdS	6.8	2.5	37.4	1.0	12.5
	Armonía	6.9	2.3	33.7	0.0	10.0
	Yakama	7.3	1.6	21.7	3.0	10.0
A_M54	Familias	50.0	7.0	14.1	29.0	72.0
	PdS	48.0	7.6	15.9	29.0	63.0
	Armonía	49.9	6.7	13.4	37.0	62.0
	Yakama	50.8	9.8	19.4	23.0	62.0
A_M85	Familias	63.4	11.3	17.8	0.0	97.0
	PdS	62.1	13.0	20.9	29.0	84.0
	Armonía	66.9	10.1	15.1	34.0	84.0
	Yakama	75.6	11.8	15.6	49.0	94.0
A_M111	Familias	55.1	12.7	23.0	0.0	87.0
	PdS	52.7	12.1	23.0	20.0	69.0
	Armonía	62.0	13.7	22.2	38.0	94.0
	Yakama	78.6	16.1	20.5	36.0	100.0

5.1.2. Muestreo destructivo de noviembre

En el muestreo destructivo realizado a los 86 días post-trasplante, en noviembre (Tabla 5), los tres materiales locales registraron promedios similares en NH_N, mientras que Yakama tuvo valores muy inferiores, coincidiendo con las tendencias observadas en el muestreo no destructivo de campo, realizado con un día de diferencia de la primera (NH_M85). Al igual que en esta última variable, en NH_N las dispersiones de los materiales fueron muy diferentes, siendo Yakama, nuevamente, la de menor coeficiente de variación. Armonía tuvo los mayores coeficientes de variación, lo cual se repitió en todas las variables medidas en este muestreo. Las familias de medios hermanos no mostraron una gran dispersión en comparación con los testigos, a pesar de ser su coeficiente de variación algo superior al de PdS.

En IAF_N, las familias de medios hermanos tuvieron el mayor promedio, y PdS tuvo el menor. A pesar de eso, las diferencias entre las medias de los cuatro materiales fueron escasas. En este caso, la dispersión de las familias fue baja, similar a la de Yakama. Por otra parte, algunas familias de medios hermanos tuvieron valores muy superiores a la mayoría.

Los pesos y diámetros mayores de bulbos en este muestreo fueron similares en los tres materiales locales, e inferiores en Yakama, evidenciando, en éste último un

comienzo más tardío de la bulbificación. Yakama también presentó menores coeficientes de variación en las cuatro variables asociadas al bulbo de este muestreo, lo que indica un desarrollo más homogéneo. Las familias de medios hermanos tuvieron coeficientes de variación intermedios entre Yakama y los otros dos testigos. Algunas familias alcanzaron tamaños de bulbo muy grandes.

Para el DC_N, ninguno de los cuatro materiales se diferenció considerablemente del resto. Se mantuvo, con respecto a las otras variables del mismo muestreo, la tendencia de Yakama a la uniformidad fenotípica, visible en el desvío estándar, en el coeficiente de variación y en el rango.

El IB_N promedio fue mayor en PdS, similar entre Armonía y las familias, y menor en Yakama. El coeficiente de variación de las familias de medios hermanos fue inferior a los de Armonía y PdS, pero existieron, nuevamente, valores extremos, tanto muy inferiores como muy superiores a la media, lo cual podría tener efectos importantes en términos de uniformidad de ciclo.

Tabla 5

Estadísticos descriptivos resumen de variables en el muestreo destructivo de noviembre para los materiales evaluados

Variable	Material	Media	DE	CV (%)	Min	Max
NH_N	Familias	7.7	1.3	16.3	2.5	11.0
	PdS	7.1	0.9	12.7	6.0	9.0
	Armonía	7.0	2.0	28.2	4.5	11.0
	Yakama	6.4	0.6	9.5	5.5	7.0
IAF_N	Familias	2.2	0.8	34.4	0.3	5.1
	PdS	1.8	0.8	41.9	0.8	3.1
	Armonía	2.1	1.1	52.2	0.6	3.5
	Yakama	2.0	0.7	33.7	0.8	3.1
PB_N	Familias	43.9	23.0	52.5	3.9	130.2
	PdS	43.0	26.4	61.3	16.0	93.8
	Armonía	42.2	28.6	67.8	7.4	88.4
	Yakama	26.4	8.4	31.7	10.0	40.1
DB_N	Familias	37.0	9.3	25.3	11.0	64.0
	PdS	36.8	9.4	25.6	23.0	52.0
	Armonía	36.4	14.4	39.5	16.0	61.0
	Yakama	29.7	5.7	19.1	19.0	40.0
DC_N	Familias	18.9	3.5	18.6	8.0	30.0
	PdS	16.8	3.6	21.6	10.0	22.0
	Armonía	19.0	4.6	24.3	9.0	26.0
	Yakama	19.3	2.1	10.9	14.0	21.0
IB_N	Familias	2.0	0.4	19.5	0.7	3.1
	PdS	2.2	0.5	21.3	1.5	3.2
	Armonía	1.9	0.4	23.8	1.2	2.4
	Yakama	1.5	0.2	13.0	1.2	1.9

5.1.3. Muestreo destructivo de cosecha

En el muestreo destructivo realizado después de la cosecha, en las mismas cinco plantas por parcela evaluadas en los muestreos de campo, los materiales de Pantanoso registraron menores valores en NH_C y A_C (Tabla 6). Armonía tuvo valores intermedios y Yakama los mayores. La semana de vuelco tuvo el mismo patrón entre los cuatro materiales: valores inferiores para familias y testigo PdS, intermedios para Armonía y superiores para Yakama. El coeficiente de variación de las familias de medios hermanos fue el segundo más alto, después de PdS, en estas tres variables.

En PB_C, las familias de medios hermanos registraron el mayor promedio, seguidas de Armonía, PdS y Yakama, este último con valores muy inferiores, relacionados a su cosecha prematura. Relacionando los pesos promedio a los 86 y 125 días post-trasplante, surge que los cuatro materiales, en la primera fecha, alcanzaban un 24.9%, 26.7%, 25% y 21% del peso final, respectivamente, existiendo una tasa de crecimiento de bulbo similar en las tres VPA. La dispersión de esta variable fue similar entre los cuatro materiales, y los coeficientes de variación fueron en general muy elevados.

Para la variable DB_C, los tres materiales de VPAs tuvieron promedios similares, y Yakama, el menor. En DC_C, Yakama fue el que registró el promedio más alto, debido a un cerrado insuficiente provocado por su cosecha prematura. Armonía, PdS y las familias tuvieron coeficientes de variación elevados, especialmente en DC_C, probablemente afectados por valores muy bajos de plantas que no se desarrollaron adecuadamente.

Tabla 6

Estadísticos descriptivos resumen de variables en el muestreo destructivo de cosecha para los materiales evaluados

Variable	Material	Media	DE	CV (%)	Min	Max
NH_C	Familias	3.9	2.7	70.5	0.0	14.5
	PdS	2.5	2.3	91.3	0.0	8.5
	Armonía	5.1	2.9	56.0	0.5	12.0
	Yakama	7.1	1.5	21.6	2.5	9.0
A_C	Familias	23.8	10.3	43.1	0.0	55.0
	PdS	17.7	10.7	60.3	0.0	37.0
	Armonía	30.7	12	41.8	0.0	56.0
	Yakama	55.2	11.4	20.6	34.0	79.0
SV_C	Familias	3.1	0.7	22.4	1.0	4.0
	PdS	2.8	0.8	28.0	1.0	4.0
	Armonía	3.5	0.6	16.5	2.0	4.0
	Yakama	3.8	0.6	15.1	2.0	4.0
PB_C	Familias	178.1	86.2	48.4	0.4	369.3
	PdS	160.9	83.8	52.1	1.2	291.3
	Armonía	169.0	70.9	41.9	2.7	255.6
	Yakama	125.7	60.0	47.7	3.4	302.2
DB_C	Familias	65.2	21.0	32.2	1.0	100.0
	PdS	62.9	21.5	34.2	9.0	89.0
	Armonía	66.1	19.4	29.3	10.0	87.0
	Yakama	56.4	15.4	27.3	9.0	84.0
DC_C	Familias	12.2	5.3	43.2	1.0	26.0
	PdS	9.6	4.6	48.2	2.0	19.0
	Armonía	15.1	5.7	37.6	4.0	24.0
	Yakama	19.4	4.6	23.8	6.0	26.0
IB_C	Familias	5.8	2.7	46.4	1.0	17.2
	PdS	7.1	2.7	37.7	3.0	14.2
	Armonía	4.8	2.4	49.6	1.7	13.8
	Yakama	2.9	0.7	22.9	1.1	4.5

5.1.4. Muestreos de vuelco y galpón

En líneas generales, el porcentaje de vuelco acumulado (Tabla 7) fue mayor en los dos materiales de Pantanoso del Sauce (las parcelas testigo tuvieron valores más elevados que las familias de medios hermanos), intermedio en Armonía y mucho menor en Yakama, a pesar de que las medias de éste último fueron superiores a las de Armonía, debido a una parcela con un vuelco mucho mayor de lo esperable. Las familias de medios hermanos tuvieron una gran variabilidad, existiendo desde parcelas con más de 20% de vuelco en la primera semana hasta otras que llegaron a la última semana sin plantas volcadas. En Yakama, los bajos niveles de vuelco se relacionan con el tipo de ciclo. En este último testigo, además de la parcela mencionada con vuelco elevado, una tuvo una planta volcada en la segunda semana, y las restantes no tuvieron ninguna en todo el período. Por otra parte, se detectó visualmente un vuelco mucho mayor en el bloque 1, que tuvo efecto de sombreado por árboles en un sector.

Hasta los 113 días post-trasplante (la primera semana de diciembre), la mayoría de las parcelas de las familias de medios hermanos, Armonía y Yakama no tenía ninguna planta volcada. En cambio, en todas las parcelas testigo de PdS hubo al menos una planta volcada. Armonía, por otra parte, tuvo sólo una parcela con vuelco. En el segundo muestreo, se observó mayor porcentaje de vuelco, en general, existiendo parcelas con valores muy altos. A pesar de esto, se destaca la tardanza en el vuelco de Armonía con respecto a las familias y a PdS, con las cuales tiene un parentesco cercano. Finalmente, a los 125 días desde el trasplante, los dos materiales de Pantanoso alcanzaron niveles de vuelco de cosecha, Armonía tuvo un vuelco considerable desde el muestreo anterior, y en Yakama se mantuvo la tendencia previa (prácticamente sin vuelco, a excepción de la parcela antes mencionada).

El rendimiento fue aproximadamente similar entre las tres VPA, e inferior en Yakama, debido, como se dijo previamente, a una cosecha prematura para su ciclo. Este último material, por otra parte, registró más variabilidad interna que los restantes, a pesar de su homogeneidad genética. Las familias de medios hermanos tuvieron un coeficiente similar a Armonía y PdS, existiendo, nuevamente, algunos valores extremos.

Tabla 7

Estadísticos descriptivos resumen de variables en muestreos de vuelco y galpón para los materiales evaluados

Variable	Material	Media	DE	CV (%)	Min	Max
V_V113	Familias	2.5	4.0	163.2	0.0	29.3
	PdS	6.9	8.4	121.4	1.9	23.4
	Armonía	0.3	0.8	244.9	0.0	2.0
	Yakama	1.0	2.6	244.9	0.0	6.2
V_V119	Familias	16.4	16.5	100.7	0.0	80.0
	PdS	23.9	28.8	120.6	6.1	80.0
	Armonía	5.7	5.7	98.8	0.0	14.9
	Yakama	10.4	24.5	236	0.0	60.4
V_V125	Familias	67.2	24.5	36.5	0.0	80
	PdS	80.0	0.0	0.0	80.0	80
	Armonía	43.3	40.8	94.2	0.0	80
	Yakama	13.7	32.5	238.1	0.0	80
Y_G	Familias	30.3	7.9	26.0	9.3	50.1
	PdS	28.3	6.8	24.0	20.3	37.7
	Armonía	29.0	7.3	25.0	16.2	36.6
	Yakama	20.6	6.6	32.0	10.7	30.2

5.2. Análisis de varianza y pruebas de comparación

En la Tabla 8 se presenta, para cada variable, el p-valor del efecto de bloque y de familia de medios hermanos, además del tipo de modelo (con familia, en el caso de los generalizados). Se encontraron efectos significativos para familia en 19 de las 23 variables. Las variables que no los registraron fueron NH_M85, A_M54, IAF_N y Y_G.

Tabla 8

Modelos ajustados, y p-valor obtenido para familia y bloque en las variables de estudio

Muestreo	Variable	Familia	Bloque	Modelo
Campo	NH_M54	**<0.001**	<0.001	MLMG: Genpoisson
	NH_M85	0.110	<0.001	Lineal general mixto
	NH_M111	**0.002**	0.355	MLMG: Genpoisson
	A_M54	0.072	0.037	Lineal general mixto
	A_M85	**<0.001**	<0.001	Lineal general mixto
	A_M111	**<0.001**	<0.001	Lineal general mixto
Destructivo de noviembre	NH_N	**0.002**	<0.001	Lineal general mixto
	DB_N	**<0.001**	<0.001	Lineal general mixto
	DC_N	**0.027**	<0.001	Lineal general mixto
	PB_N	**<0.001**	<0.001	MLMG: Gamma
	IB_N	**<0.001**	<0.001	Lineal general mixto
	IAF_N	0.101	<0.001	Lineal general mixto
Destructivo de cosecha	NH_C	**<0.001**	<0.001	Lineal general mixto
	A_C	**<0.001**	<0.001	Lineal general mixto
	DB_C	**0.002**	0.389	Lineal general mixto
	DC_C	**<0.001**	0.008	Lineal general mixto
	PB_C	**0.001**	0.026	Lineal general mixto
	IB_C	**<0.001**	0.024	Lineal general mixto
	SV_C	**<0.001**	0.001	MLMG: Genpoisson
Vuelco	V_V113	**<0.001**	0.002	MLMG: Beta
	V_V119	**<0.001**	<0.001	MLMG: Beta
	V_V125	**<0.001**	<0.001	MLMG: Beta
Galpón	Y_G	0.0569	<0.001	Lineal general mixto

Nota. Genpoisson: Familia Poisson generalizada, con media distinta de la varianza.

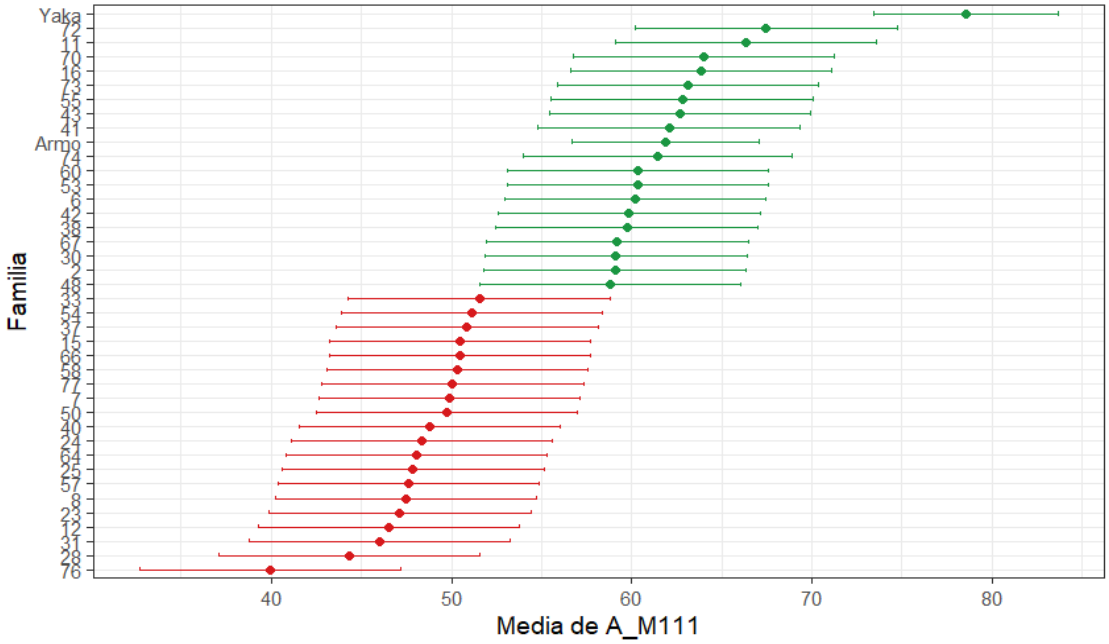
A continuación se presenta el análisis más detallado sobre las variables seleccionadas: A_M111, IAF_N, IB_N y Y_G. En el caso de este experimento existe la particularidad de que, al haber 81 tratamientos y, por lo tanto, 3240 pares a comparar, la diferencia mínima significativa calculada es excesivamente pequeña, y el test es demasiado exigente, por lo que no se realizó ninguna prueba de comparación de tipo “todos contra todos”.

5.2.1. Ranking de medias ajustadas

En la altura de follaje a los 111 días desde el trasplante (Figura 9), el testigo PdS no se ubicó entre los cuarenta genotipos extremos, pudiendo existir familias de medios hermanos muy diferentes al mismo en ambos sentidos. Los errores estándar son menores que en las otras variables, y existen diferencias amplias entre rangos de errores estándar de materiales inferiores y superiores.

Figura 9

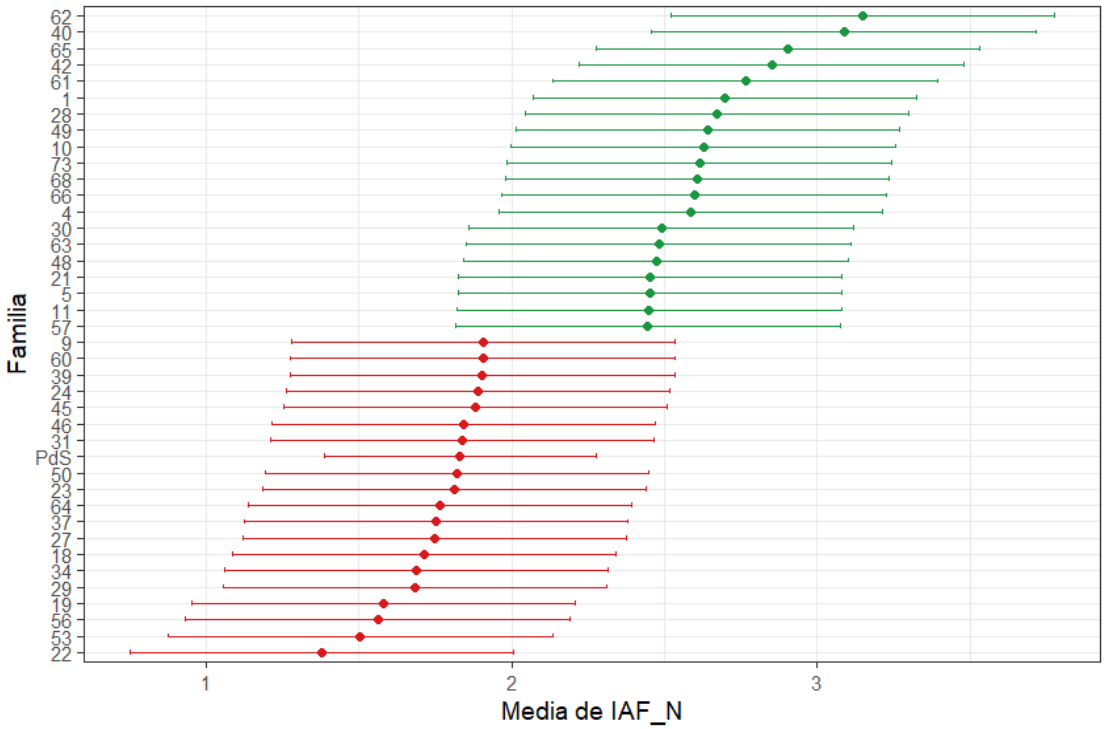
20 materiales superiores (verde) e inferiores (rojo) según media ajustada, con error estándar, para A_M111



Las medias de IAF_N (Figura 10) fueron relativamente homogéneas entre familias, con errores estándar relativamente elevados. Una posible causa de esto es que únicamente se contó con dos submuestras por unidad experimental, contrastando con la variable anterior, en la que se utilizaron cinco submuestras, y los errores estándar fueron menores. Sin embargo, en términos relativos de medias extremas, existe más variabilidad en IAF_N, con máximos que superaron el doble de los valores mínimos.

Figura 10

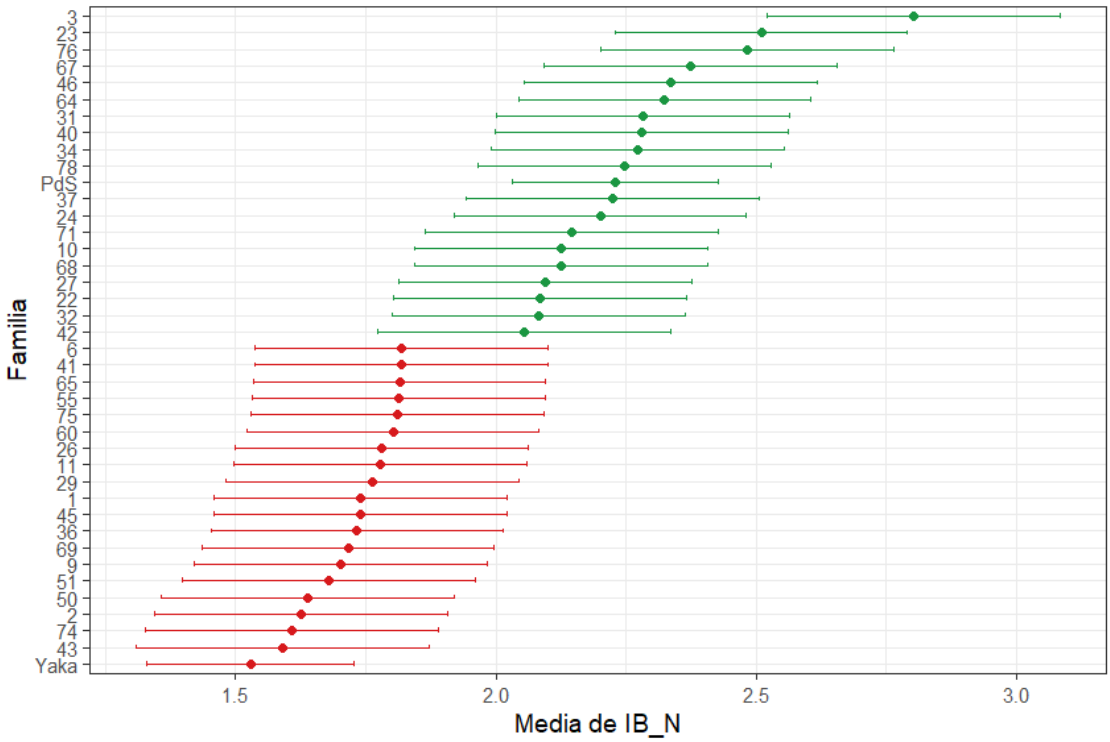
20 materiales superiores (verde) e inferiores (rojo) según media ajustada, con error estándar, para IAF_N



El índice de bulbificación (Figura 11) registró materiales muy diferenciados, tanto con valores superiores como inferiores a la mayoría de las familias. Los errores estándar fueron menores que en IAF_N, a pesar de que ambas variables fueron muestreadas con dos submuestras por unidad experimental, y evidenciando las diferencias en dispersión observadas en las tablas descriptivas.

Figura 11

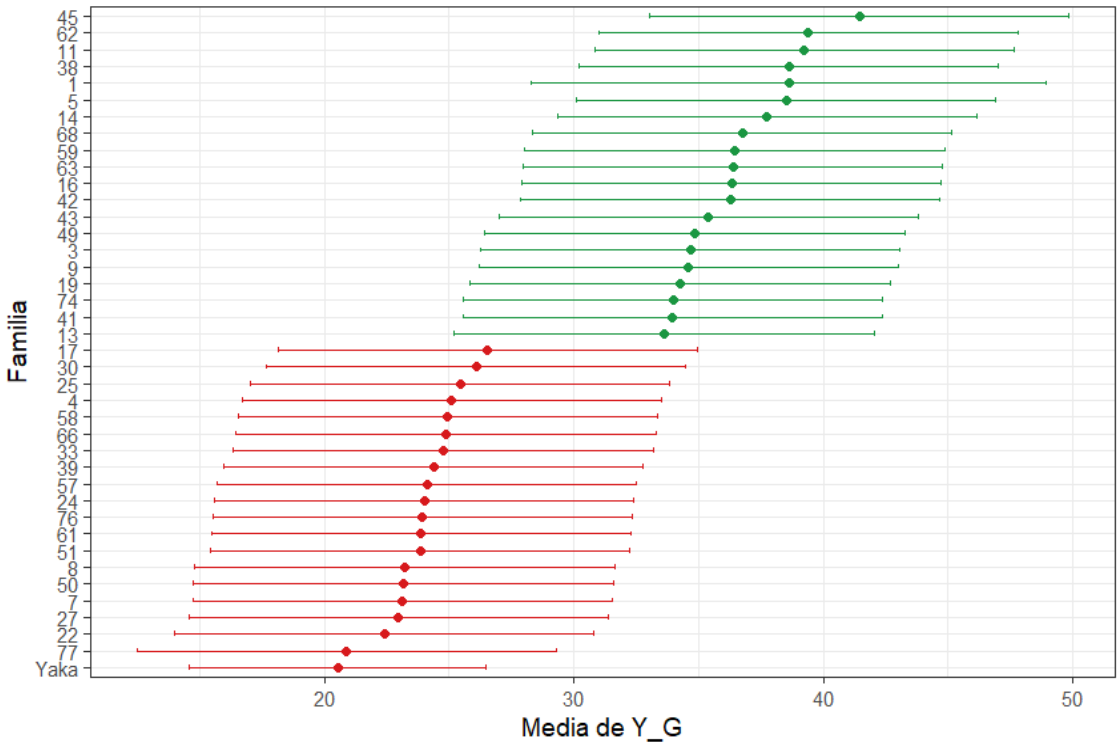
20 materiales superiores (verde) e inferiores (rojo) según media ajustada, con error estándar, para IB_N



En Y_G (Figura 12), existe bastante solapamiento de errores estándar entre los materiales superiores e inferiores. Esto indica una gran proporción de la dispersión dentro de familias, lo cual es coherente con lo visto en la tabla de análisis de varianzas (Tabla 8) para la misma variable, y también con el hecho de que en esta variable se muestreó unidades experimentales completas, sin submuestras.

Figura 12

20 materiales superiores (verde) e inferiores (rojo) según media ajustada, con error estándar, para Y_G



5.2.2. Test de Dunnett contra testigo de Pantanoso del Sauce

Los tests de Dunnett con 95% de confianza entre cada familia y PdS (Tabla 9) arrojaron 8 variables sin familias significativamente diferentes, 4 variables con una familia diferente, 3 variables con dos familias diferentes y 8 variables con tres o más familias diferentes. Las variables que registraron tres familias diferentes o más, fueron A_M111, IB_N, NH_C, A_C, IB_C, V_V113, V_V119 y V_V125. A excepción de A_M111, todas las familias diferentes, en los casos en que existieron, se diferenciaron en un solo sentido, es decir, fueron mayores o menores que el testigo.

En los tres muestreos de campo y en el destructivo de noviembre, hubo pocas familias diferenciadas, con la excepción de IB_N y A_M111. Las restantes registraron dos o menos familias alejadas. En los muestreos de cosecha algunas variables registraron pocas o ninguna familia diferente, pero muchas familias se diferenciaron en número de hojas, altura e índice de bulbificación. Los muestreos de vuelco fueron los que mostraron más familias diferentes, principalmente a principios de diciembre, y, finalmente, ninguna familia se diferenció en rendimiento de PdS.

Tabla 9

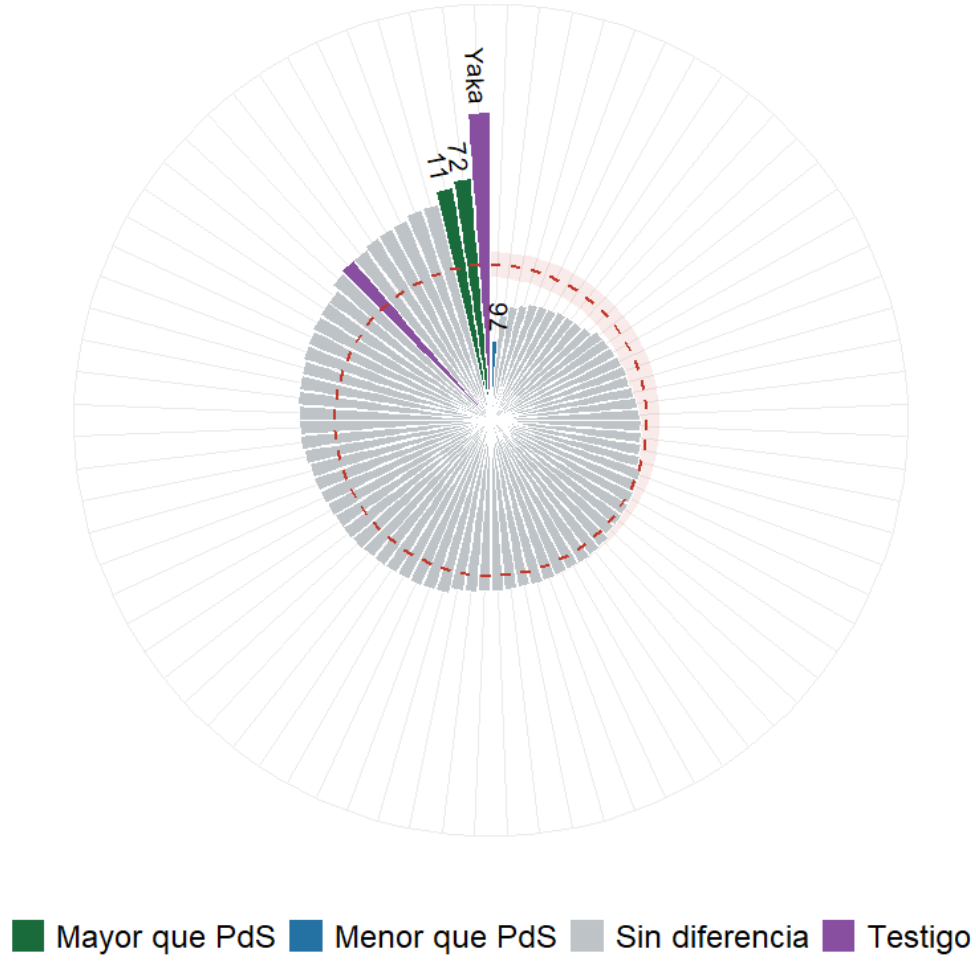
Número de familias significativamente diferentes de PdS en test de Dunnett para cada variable

Muestreo	Variable	> PdS	< PdS	ns	DMS
Campo	NH_M54	0	0	78	0.19
	NH_M85	0	0	78	2.36
	NH_M111	0	1	77	0.39
	A_M54	0	1	77	14.42
	A_M85	2	0	76	12.65
	A_M111	2	1	75	15.18
Destructivo de noviembre	NH_N	0	0	78	1.90
	DB_N	0	0	78	12.80
	DC_N	1	0	77	6.40
	IB_N	0	4	74	0.59
	PB_N	0	0	78	0.71
	IAF_N	2	0	76	1.31
Destructivo de cosecha	NH_C	7	0	71	2.99
	A_C	16	0	62	13.16
	DB_C	0	0	78	22.92
	DC_C	0	0	78	5.87
	PB_C	1	0	77	96.17
	IB_C	0	7	71	19.63
	SV_C	2	0	76	0.23
Vuelco	V_113	0	42	36	0.42
	V_119	0	16	62	2.00
	V_125	0	4	74	2.96
Galpón	Y_G	0	0	78	17.57

A_M111 (Figura 13) fue la única variable que registró tanto familias significativamente mayores como menores. El material con mayor altura fue Yakama que, como se vio en la Tabla 4, fue el único que, en promedio, creció entre los 85 y los 111 días, mientras que el resto decreció por haber comenzado ya la senescencia del follaje.

Figura 13

Gráfico radial de Test de Dunnett contra PdS con 95% de confianza para A_M111

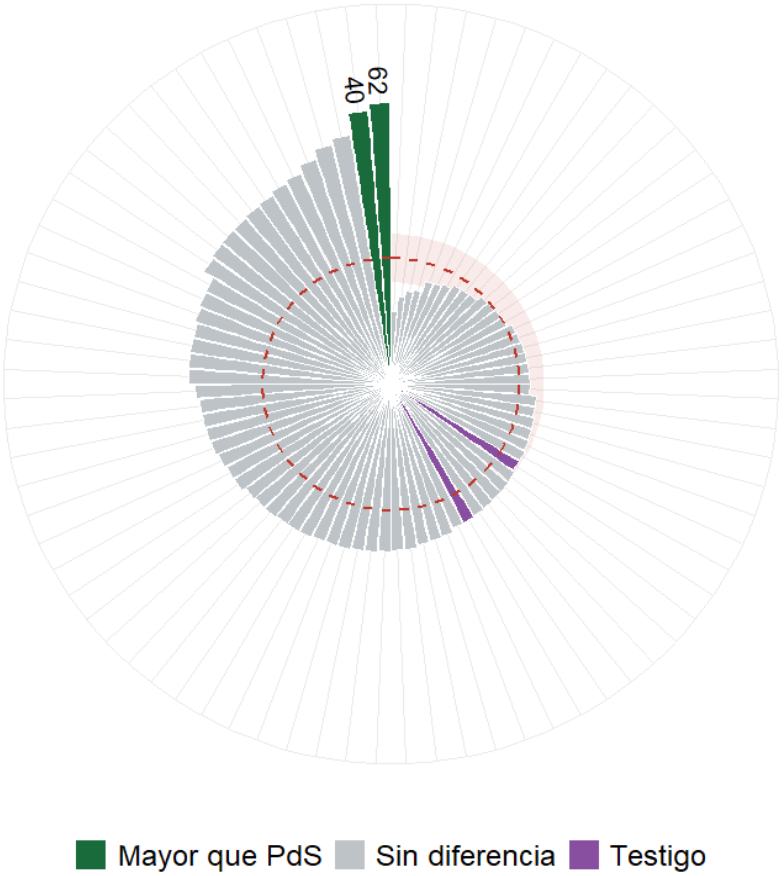


Nota. La longitud de las barras representa la media ajustada de cada familia o testigo. El círculo punteado rojo indica la media ajustada de PdS para la variable, y el halo rojo, el error estándar de la misma.

En IAF_N (Figura 14), medido a los 86 días post-trasplante, dos familias fueron significativamente superiores a PdS. Esto se explica por la posición extrema de PdS en el ranking de medias (ubicado entre las de menor valor).

Figura 14

Gráfico radial de Test de Dunnett contra PdS con 95% de confianza para IAF_N

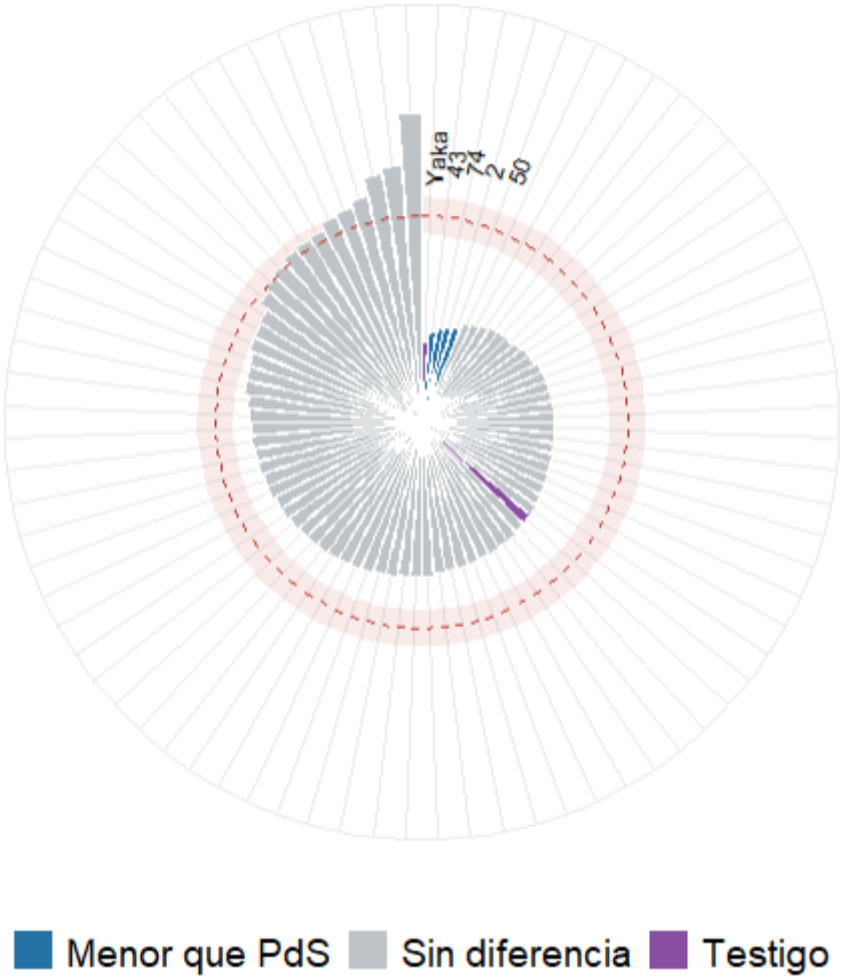


Nota. La longitud de las barras representa la media ajustada de cada familia o testigo. El círculo punteado rojo indica la media ajustada de PdS para la variable, y el halo rojo, el error estándar de la misma.

En IB_N (Figura 15), PdS nuevamente registró un valor próximo al extremo, en este caso, elevado. Por lo tanto, alcanzó a diferenciarse de cinco materiales, entre ellos Yakama, que registró el menor valor de todos.

Figura 15

Gráfico radial de Test de Dunnett contra PdS con 95% de confianza para IB_N

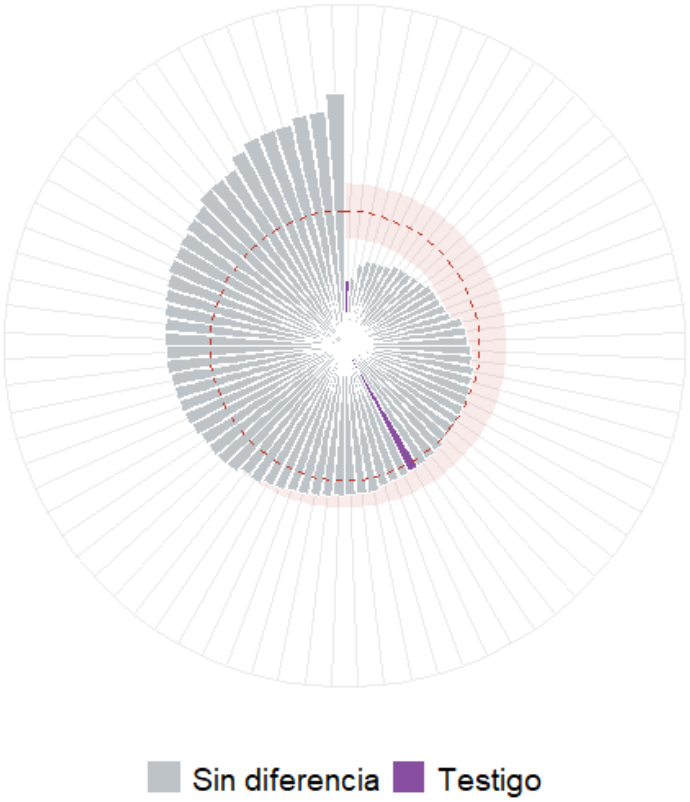


Nota. La longitud de las barras representa la media ajustada de cada familia o testigo. El círculo punteado rojo indica la media ajustada de PdS para la variable, y el halo rojo, el error estándar de la misma.

Finalmente, en el caso de Y_G (Figura 16), ninguna familia de medios hermanos ni testigo se diferenció de PdS. La menor precisión en el cálculo de las medias para esta variable se observa en el halo rojo (error estándar de PdS), de tamaño mucho mayor que en las figuras anteriores.

Figura 16

Gráfico radial de Test de Dunnett contra PdS con 95% de confianza para Y_G



Nota. La longitud de las barras representa la media ajustada de cada familia o testigo. El círculo punteado rojo indica la media ajustada de PdS para la variable, y el halo rojo, el error estándar de la misma.

5.3. Componentes de varianza y estimaciones de heredabilidad

En la descomposición de varianzas de las cuatro variables (Tabla 10), predominó la varianza entre plantas de la misma parcela, con la excepción del rendimiento, que se estimó por parcela (es decir, no hay información de submuestreo). La variable que registró el mayor porcentaje de variación entre familias fue IB_N.

Tabla 10

Descomposición de varianzas en componentes del diseño experimental para las cuatro variables de interés seleccionadas

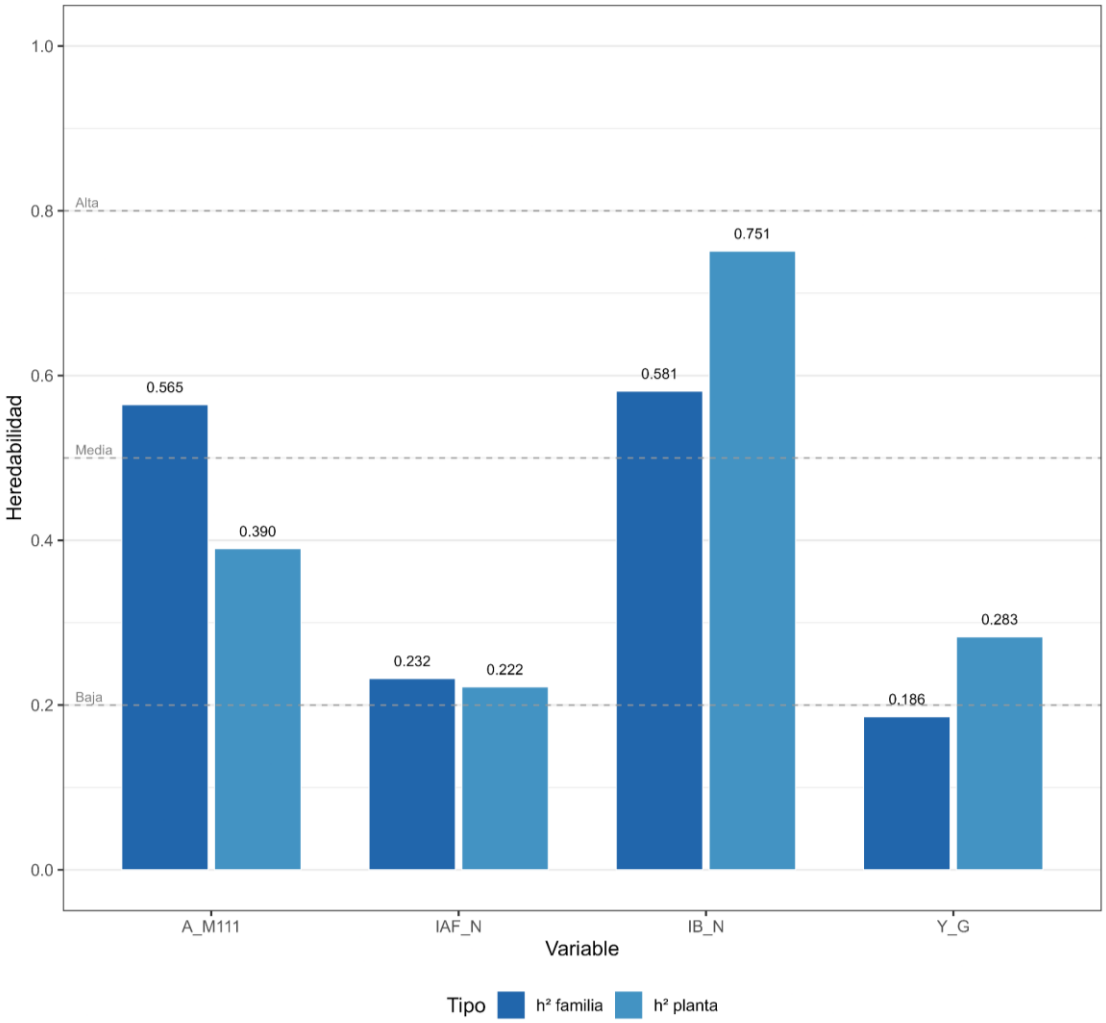
Variable	σ^2F	σ^2P	σ^2e	% F	% DF
A_M111	15.43	8.88	134.00	9.75	90.25
IAF_N	0.03	0.08	0.42	5.55	94.45
IB_N	0.03	0.00	0.12	18.78	81.22
Y_G	4.23	55.52	-	7.07	92.93

Nota. **F:** Entre familias de medios hermanos. **P**: Entre parcelas de la misma familia. **e**: Entre plantas de la misma parcela (error de submuestreo). **DF**: Dentro de familia (suma de σ^2P y σ^2e sobre el total).

Como surge de lo anterior, la variable más heredable a nivel de planta fue IB_N en los dos criterios considerados (Figura 17). Le sigue A_M111, con poco más de la mitad del valor de IB_N. Las dos restantes tienen heredabilidades aún menores, por estar más asociadas al vigor que a la fenología. Por otra parte, IAF_N y Y_G tampoco registraron diferencias significativas entre familias en el análisis de varianzas (Tabla 8), lo cual es coherente con las heredabilidades encontradas. IB_N y A_M111 presentan una brecha importante entre ambas heredabilidades, lo cual significa que existen grandes diferencias entre los promedios de familias en esas variables.

Figura 17

Heredabilidad de familia e individual para cada variable de las cuatro seleccionadas



5.4. Análisis multivariado

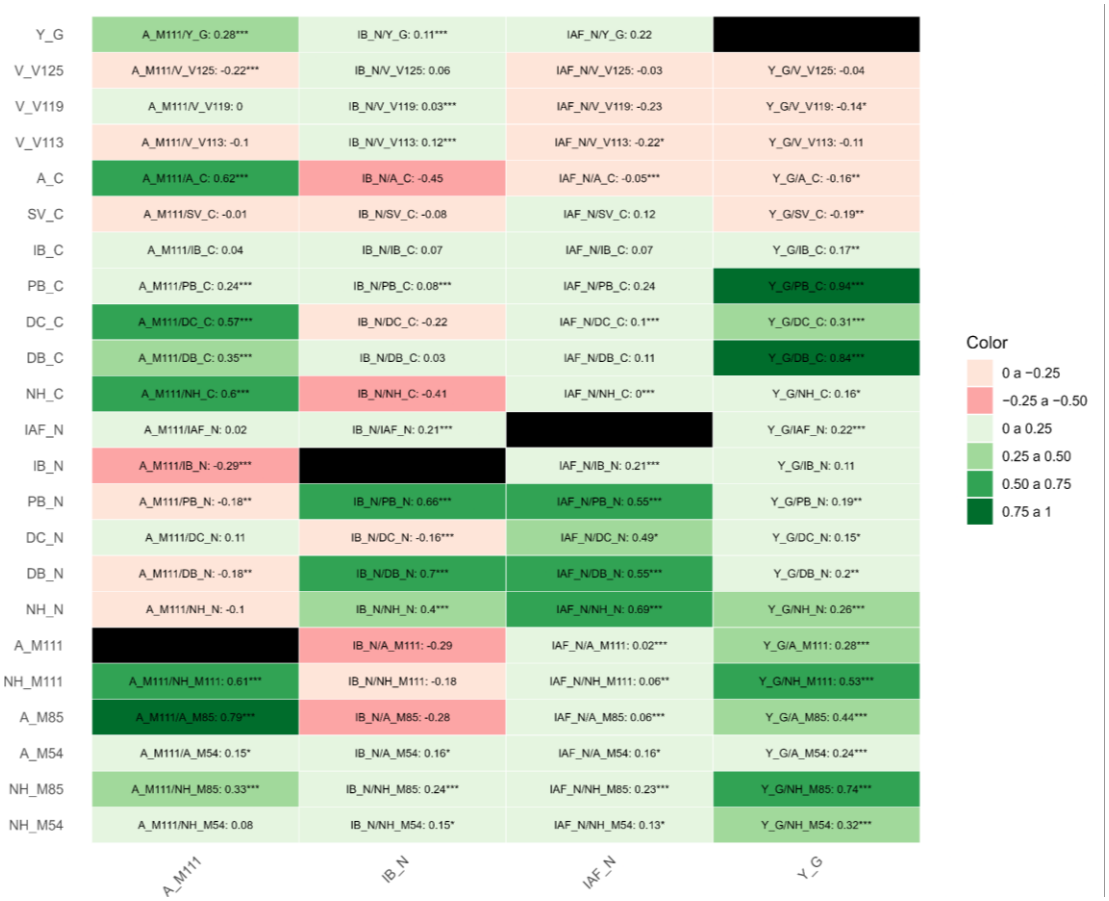
5.4.1. Correlaciones entre variables

Como se observa en la Figura 18, la mayoría de las correlaciones, positivas y negativas son leves, no existiendo ninguna correlación negativa más fuerte que -0.5. A_M111 está asociada fuertemente con todas las otras variables de follaje medidas en el mes de diciembre (A_C, NH_M111, NH_C). Sin embargo, con las que fueron medidas en noviembre no ocurre lo mismo. Hay correlación muy positiva con A_M85 (a inicios de

la bulbificación), pero no así con NH_N, NH_M85 y IAF_N, donde las asociaciones son mucho más débiles. IB_N correlaciona negativamente con la mayoría de las variables de follaje desde la bulbificación, aunque predominan las correlaciones bajas, tanto positivas como negativas. El caso de IAF_N es llamativo, ya que correlaciona fuertemente con las variables del mismo muestreo, salvo IB_N, y muy débilmente con todas las otras. Finalmente, las correlaciones más fuertes de Y_G son, además de las obvias (PB_C y DB_C) con NH_M85 y NH_M111.

Figura 18

Correlaciones entre cada una de las cuatro variables seleccionadas y todas las restantes



Nota. *: p-valor < 0.05. **: p-valor <0.01. ***: p-valor<0.001.

5.4.2. Análisis de Componentes Principales

Los dos primeros componentes del Análisis de Componentes Principales presentados en el biplot (Figura 19), explican el 68.1% de la variabilidad total. A_M111 e IB_N son las variables de mayor proyección en el primer componente principal (Tabla 11; el gráfico biplot está centrado en PdS, por lo que los aportes de la tabla no coinciden con las coordenadas de las variables en el biplot). Con respecto a la agrupación de materiales, no se observan grupos claramente diferenciados. Sí aparecen algunos materiales, como las familias 3, 22, 11 y 62 o, más notoriamente, el testigo Yakama, alejados del resto en alguno de los componentes principales y, por lo tanto, en alguna de las variables correlacionadas con los mismos. Por ejemplo, la familia 3, cercana a las coordenadas de la variable IB_N, es la que registró el mayor valor en esta variable, con una diferencia amplia sobre el resto. En este sentido, una familia aparentemente

promisoria es la 62, muy próxima a las coordenadas de IAF_N y de Y_G, que son, entre las cuatro, las más relevantes en desempeño productivo.

Tabla 11

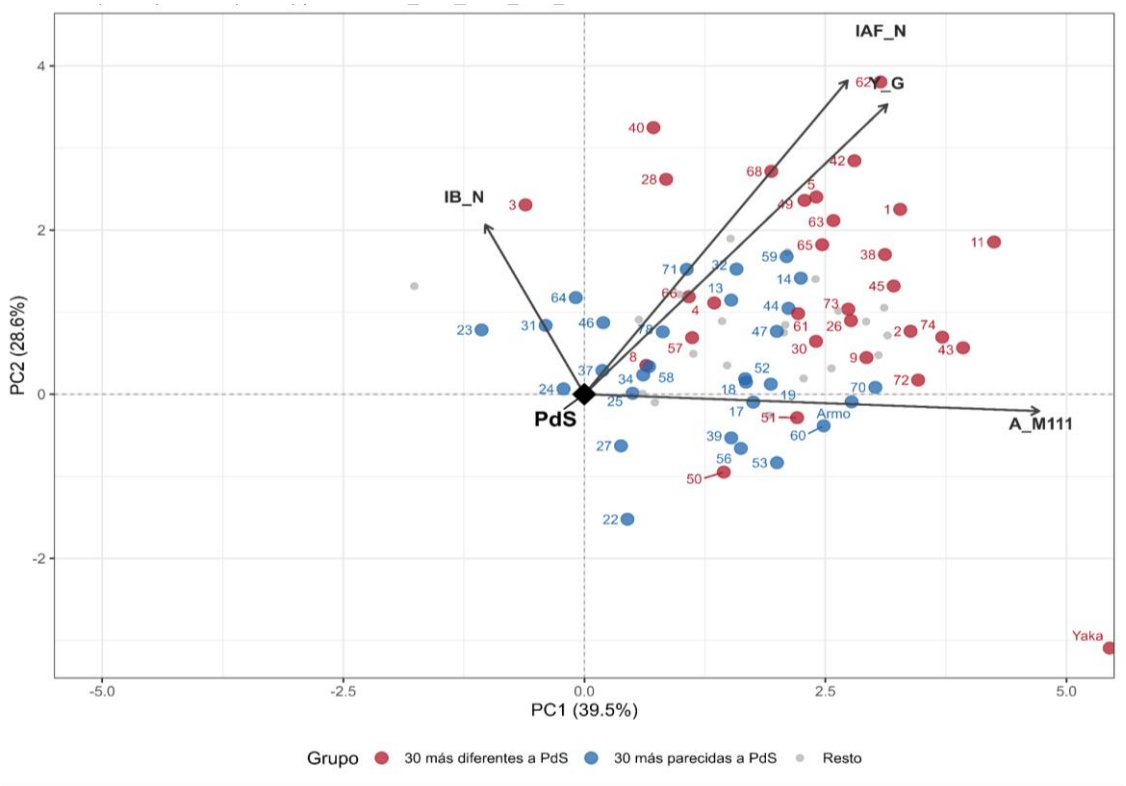
Aporte de cada variable a los dos primeros componentes principales

Variable	CP1	CP2
A_M111	2.92	-1.01
IAF_N	0.94	3.02
IB_N	-2.82	1.26
Y_G	1.34	2.73

Nota. **CP1**: Componente principal 1. **CP2**: Componente principal 2.

Figura 19

Gráfico biplot del Análisis de Componentes Principales para las variables seleccionadas

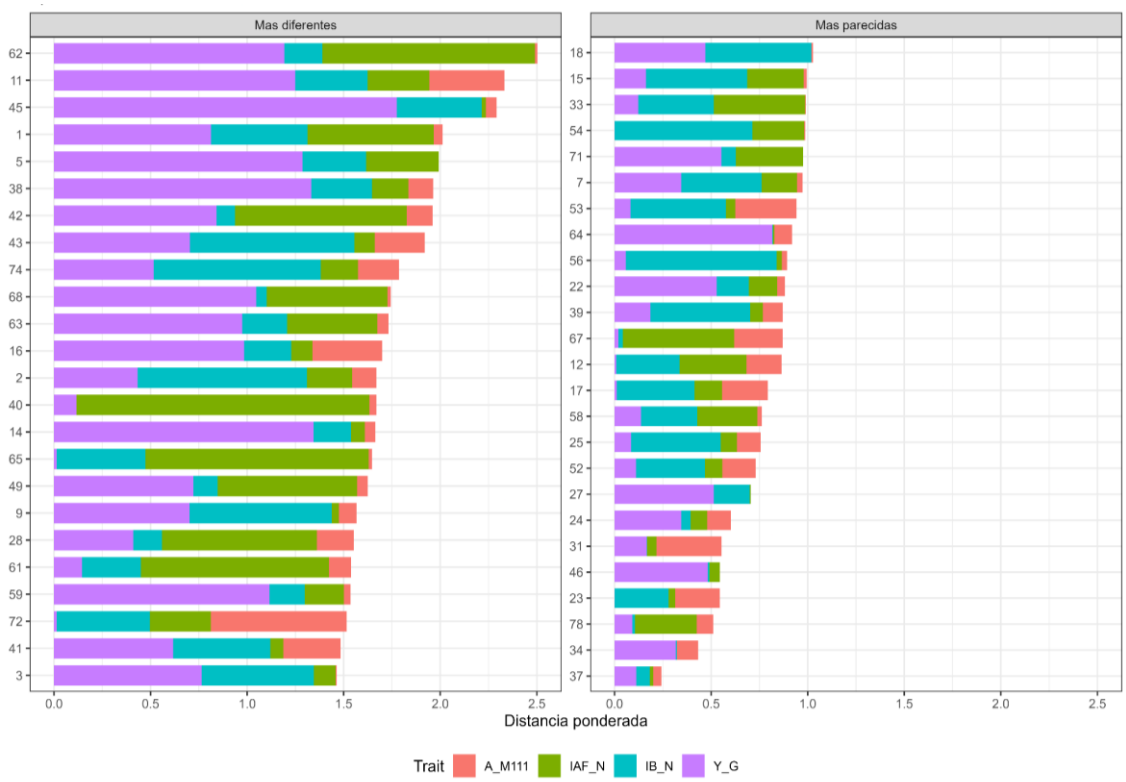


5.4.3. Variables más discriminantes

Para las 25 familias más diferentes de PdS en distancia euclídea ponderada, la variable más discriminante entre las cuatro seleccionadas fue Y_G (Figura 20), existiendo diferencias considerables en la mayoría de las familias de este grupo. Entre las familias más similares, parece haber una distribución más homogénea entre Y_G, IB_N y IAF_N. En el otro extremo, A_M111 explicó muy poca diferencia en ambos grupos.

Figura 20

Aporte de cada variable a la distancia euclídea ponderada entre cada familia y PdS



5.5. Selección de familias para el mantenimiento del cultivar

De la comparación entre los cuatro criterios de distancia multivariada (Tabla 12) y las medias ajustadas para el conjunto de familias seleccionadas (Tabla 13) surge que hay algunas diferencias relevantes entre diferentes criterios de selección, con números de coincidencias entre 18 y 22 para las 25 familias más similares. Quince familias aparecieron en los cuatro grupos de 25 familias seleccionadas (Anexo A), es decir, superaron los filtros de ponderación agronómica, correlaciones de variables y ponderación por heredabilidad. Otras cinco aparecieron en tres de las cuatro selecciones, y seis adicionales aparecieron solamente en dos. Las medias ajustadas promedio para cada criterio son cercanas a las de PdS, tomando en cuenta la gran variabilidad existente en la población, y los coeficientes de variación de IB_N también son similares al testigo. Las tablas con las familias seleccionadas y sus indicadores para las variables de interés de cada criterio están disponibles en los anexos B, C, D y E.

Tabla 12

Correlaciones y número de coincidencias entre rankings de 25 familias más similares a PdS

Criterio	DE	DMP	DMC	DMPH
DEP	-	20 (0.94)	18 (0.87)	22 (0.93)
DMP	20 (0.94)	-	21 (0.93)	19 (0.86)
DMC	18 (0.87)	21 (0.93)	-	18 (0.85)
DMPH	22 (0.93)	19 (0.86)	18 (0.85)	-

Nota. Fuera de paréntesis, número de familias que aparecen en ambos rankings. Dentro de paréntesis, coeficiente de correlación de Spearman entre cada par de rankings. **DE**: Distancia euclídea ponderada. **DMP**: Distancia de Mahalanobis ponderada por relevancia agronómica. **DMC**: Distancia de Mahalanobis clásica. **DMPH**: Distancia de Mahalanobis ponderada por relevancia agronómica y heredabilidad de caracteres.

Tabla 13

Estadísticos descriptivos de cada ranking en variables de interés, y coeficiente de variación de IB_N

Criterio	A_M111	IAF_N	IB_N	Y_G	CV_IB_N
DEP	52.45 ± 0.74	1.91 ± 0.06	2.09 ± 0.03	27.65 ± 0.85	21.73
DMP	54.52 ± 0.73	1.93 ± 0.06	2.09 ± 0.03	28.16 ± 0.84	22.62
DMC	54.22 ± 0.73	1.88 ± 0.06	2.08 ± 0.03	28.96 ± 0.84	21.56
DMPH	52.31 ± 0.74	2.02 ± 0.06	2.12 ± 0.03	27.79 ± 0.85	21.33
PdS	52.73 ± 2.60	1.83 ± 0.23	2.23 ± 0.10	28.26 ± 3.01	21.26

Nota. Medias ± errores estándar.

5.6 Materiales promisorios para mejoramiento

Los dos métodos de selección de familias (relevancia agronómica y relevancia agronómica ponderada por heredabilidad) tuvieron indicadores bastante similares (Tabla 14), y se observaron diferencias importantes con respecto a PdS. Los valores de IB_N son algo menores (ciclos un poco más tardíos), los coeficientes de variación de la misma variable son similares al testigo, mientras que los valores de Y_G, A_M111 y IAF_N son superiores.

Tabla 14

Estadísticos descriptivos y coeficiente de variación de IB_N para ranking de cada criterio de mejoramiento

Método	A_M111	IAF_N	IB_N	Y_G	CV_IB_N
RA	55.96 ± 2.24	2.30 ± 0.09	1.99 ± 0.08	35.58 ± 1.42	21.10
RAH	55.07 ± 2.20	2.28 ± 0.09	2.02 ± 0.08	34.80 ± 1.39	21.65
PdS	52.73 ± 2.60	1.83 ± 0.23	2.23 ± 0.10	28.26 ± 3.01	21.26

Nota. RA: Relevancia agronómica. RAH: Relevancia agronómica ponderada por heredabilidad.

A partir de lo anterior se deduce que los dos criterios producen selecciones bastante similares, algo que se confirma observando las 25 familias mejor puntuadas en cada uno (Tablas 15 y 16). 24 familias aparecen en ambos rankings. El coeficiente de

correlación de Spearman entre los puntajes de ambos criterios es de 0.93, lo que indica la existencia de algunos reordenamientos, que se ven, por ejemplo, en las dos primeras familias, que aparecen intercambiadas en ambas tablas.

Tabla 15

Estadísticos descriptivos y coeficiente de variación de IB_N para mejores 25 familias en puntaje RA

Familia	Puntaje	A_M111	IAF_N	IB_N	Y_G	CV_IB_N
45	5.78	57.67 ± 3.68	1.88 ± 0.32	1.74 ± 0.14	41.43 ± 4.26	7.84
62	5.50	55.00 ± 3.68	3.15 ± 0.32	1.90 ± 0.14	39.40 ± 4.26	5.96
11	4.44	66.33 ± 3.68	2.45 ± 0.32	1.78 ± 0.14	39.24 ± 4.26	18.89
5	4.32	51.73 ± 3.68	2.45 ± 0.32	1.85 ± 0.14	38.50 ± 4.26	16.79
68	4.16	54.87 ± 3.68	2.61 ± 0.32	2.13 ± 0.14	36.75 ± 4.26	17.70
14	3.93	56.67 ± 3.68	1.99 ± 0.32	1.98 ± 0.14	37.75 ± 4.26	23.95
42	3.87	59.87 ± 3.68	2.85 ± 0.32	2.06 ± 0.14	36.28 ± 4.26	15.18
59	3.67	55.60 ± 3.68	2.18 ± 0.32	2.00 ± 0.14	36.44 ± 4.26	15.18
38	3.47	59.73 ± 3.68	2.23 ± 0.32	1.86 ± 0.14	38.61 ± 4.26	41.03
63	3.46	56.93 ± 3.68	2.48 ± 0.32	1.94 ± 0.14	36.37 ± 4.26	17.15
16	3.35	63.87 ± 3.68	2.07 ± 0.32	1.94 ± 0.14	36.33 ± 4.26	16.81
49	2.83	56.80 ± 3.68	2.64 ± 0.32	2.04 ± 0.14	34.85 ± 4.26	20.86
64	2.65	48.07 ± 3.68	1.77 ± 0.32	2.32 ± 0.14	33.33 ± 4.26	15.87
1	2.33	56.87 ± 3.68	2.70 ± 0.32	1.74 ± 0.14	38.61 ± 5.23	31.90
13	2.28	53.27 ± 3.68	2.03 ± 0.32	2.02 ± 0.14	33.61 ± 4.26	13.06
28	2.10	44.33 ± 3.68	2.67 ± 0.32	2.03 ± 0.14	32.84 ± 4.26	11.23
9	1.99	57.87 ± 3.68	1.91 ± 0.32	1.70 ± 0.14	34.61 ± 4.26	10.45
21	1.95	56.67 ± 3.68	2.45 ± 0.32	2.02 ± 0.14	32.93 ± 4.26	14.44
71	1.89	52.07 ± 3.68	2.20 ± 0.32	2.15 ± 0.14	32.40 ± 4.26	16.47
3	1.86	53.47 ± 3.68	2.05 ± 0.32	2.80 ± 0.14	34.68 ± 4.26	21.98
75	1.69	57.13 ± 3.68	2.20 ± 0.32	1.81 ± 0.14	33.40 ± 4.26	10.95
41	1.68	62.07 ± 3.68	1.97 ± 0.32	1.82 ± 0.14	33.96 ± 4.26	18.57
40	1.60	48.80 ± 3.68	3.09 ± 0.32	2.28 ± 0.14	30.33 ± 4.26	9.83
19	1.57	57.93 ± 3.68	1.58 ± 0.32	1.98 ± 0.14	34.26 ± 4.26	35.49
47	1.49	55.33 ± 3.68	2.01 ± 0.32	1.91 ± 0.14	32.71 ± 4.26	13.21
PdS	-0.70	52.73 ± 2.60	1.83 ± 0.23	2.23 ± 0.10	28.26 ± 3.01	21.26

Tabla 16

Estadísticos descriptivos y coeficiente de variación de IB_N para mejores 25 familias en puntaje RAH

Familia	Puntaje	A_M111	IAF_N	IB_N	Y_G	CV_IB_N
62	1.18	55.00 ± 3.68	3.15 ± 0.32	1.90 ± 0.14	39.40 ± 4.26	5.96
45	1.01	57.67 ± 3.68	1.88 ± 0.32	1.74 ± 0.14	41.43 ± 4.26	7.84
68	0.99	54.87 ± 3.68	2.61 ± 0.32	2.13 ± 0.14	36.75 ± 4.26	17.70
42	0.90	59.87 ± 3.68	2.85 ± 0.32	2.06 ± 0.14	36.28 ± 4.26	15.18
64	0.88	48.07 ± 3.68	1.77 ± 0.32	2.32 ± 0.14	33.33 ± 4.26	15.87
40	0.81	48.80 ± 3.68	3.09 ± 0.32	2.28 ± 0.14	30.33 ± 4.26	9.83
59	0.80	55.60 ± 3.68	2.18 ± 0.32	2.00 ± 0.14	36.44 ± 4.26	15.18
5	0.73	51.73 ± 3.68	2.45 ± 0.32	1.85 ± 0.14	38.50 ± 4.26	16.79
14	0.70	56.67 ± 3.68	1.99 ± 0.32	1.98 ± 0.14	37.75 ± 4.26	23.95
46	0.69	52.00 ± 3.68	1.84 ± 0.32	2.34 ± 0.14	30.83 ± 4.26	12.76
63	0.67	56.93 ± 3.68	2.48 ± 0.32	1.94 ± 0.14	36.37 ± 4.26	17.15
16	0.65	63.87 ± 3.68	2.07 ± 0.32	1.94 ± 0.14	36.33 ± 4.26	16.81
11	0.65	66.33 ± 3.68	2.45 ± 0.32	1.78 ± 0.14	39.24 ± 4.26	18.89
49	0.61	56.80 ± 3.68	2.64 ± 0.32	2.04 ± 0.14	34.85 ± 4.26	20.86
71	0.61	52.07 ± 3.68	2.20 ± 0.32	2.15 ± 0.14	32.40 ± 4.26	16.47
28	0.60	44.33 ± 3.68	2.67 ± 0.32	2.03 ± 0.14	32.84 ± 4.26	11.23
13	0.59	53.27 ± 3.68	2.03 ± 0.32	2.02 ± 0.14	33.61 ± 4.26	13.06
31	0.52	46.00 ± 3.68	1.84 ± 0.32	2.28 ± 0.14	29.36 ± 4.26	16.43
21	0.51	56.67 ± 3.68	2.45 ± 0.32	2.02 ± 0.14	32.93 ± 4.26	14.44
34	0.46	55.51 ± 3.77	1.69 ± 0.32	2.27 ± 0.14	29.84 ± 4.26	20.21
32	0.38	54.73 ± 3.68	2.34 ± 0.32	2.08 ± 0.14	31.83 ± 4.26	19.93
47	0.32	55.33 ± 3.68	2.01 ± 0.32	1.91 ± 0.14	32.71 ± 4.26	13.21
75	0.28	57.13 ± 3.68	2.20 ± 0.32	1.81 ± 0.14	33.40 ± 4.26	10.95
38	0.23	59.73 ± 3.68	2.23 ± 0.32	1.86 ± 0.14	38.61 ± 4.26	41.03
9	0.22	57.87 ± 3.68	1.91 ± 0.32	1.70 ± 0.14	34.61 ± 4.26	10.45
PdS	-0.70	52.73 ± 2.60	1.83 ± 0.23	2.23 ± 0.10	28.26 ± 3.01	21.26

6. DISCUSIÓN

6.1. Descripción poblacional, análisis de varianzas y pruebas de comparación

Los promedios de NH_M85 (Tabla 4), en las familias y en PdS, son similares al reportado por Ballestrino y Varga (1999) en la misma época del cultivo. Sin embargo, en este último trabajo, la dispersión de esta variable fue mucho menor (coeficiente de variación de 19.8%), comparada tanto con las familias de medios hermanos como con el testigo PdS.

Los valores algo superiores de Armonía con respecto a los materiales de Pantanoso (familias y testigo PdS) en A_M85 y A_M111 podrían explicarse por la resistencia parcial al mildiu provocado por *Peronospora destructor* (Santos Texeira, 2024), enfermedad de gran importancia en Uruguay, que afectó al experimento, y que se desarrolla principalmente en los meses de octubre y noviembre, es decir, afectando en este caso a los dos últimos muestreos de campo. Por otra parte, las familias de medios hermanos con promedios elevados en esas dos variables podrían presentar un mejor desempeño que las restantes frente a esa enfermedad.

Los promedios obtenidos de IB_N para PdS y las familias de medios hermanos (2.2 y 2.0 respectivamente) indican una bulbificación ya comenzada al momento de ese muestreo, lo cual es coherente con los resultados de Altieri Bequio et al. (2003), también en Pantanoso del Sauce, que detectó una media de 85 días desde trasplante a inicio de bulbificación, y de Ballestrino y Varga (1999) que obtuvieron una duración media de 81 días para el mismo período. Ambos trabajos utilizaron el mismo criterio, el IB mayor a 2, para determinar el inicio de la bulbificación. Sin embargo, el coeficiente de variación, de 20% en el IB_N de este trabajo, indica la existencia de variabilidad de ciclo, que debe ser tomada en cuenta para el mantenimiento del cultivar.

Los valores medios de IAF_N fueron menores que los registrados por Altieri Bequio et al. (2003), quienes utilizaron densidades de siembra superiores, de 28.6 a 42.8 plantas por metro cuadrado, contra 18.75 en este trabajo. Los promedios de PB_N fueron similares a los del trabajo mencionado. Sin embargo, sería esperable que una menor densidad de siembra produjera bulbos de mayor tamaño, como ocurrió en el trabajo de Altieri Bequio et al. (2003), donde la densidad más baja de las tres fue la que obtuvo mayores pesos de bulbo en el inicio de la bulbificación, por un menor efecto de la competencia entre plantas.

En el muestreo de cosecha (Tabla 6), la variable NH_C tuvo valores más bajos que en el experimento de Galván et al. (2015), que registró promedios de 7.5 hojas, en un tratamiento con el mismo cultivar, que fue cosechado con un nivel de vuelco similar al de este trabajo. Por otra parte, tanto las familias como el testigo PdS tuvieron coeficientes de variación muy importantes, superiores a Armonía y a Yakama. Una cantidad importante de follaje verde al momento de la cosecha facilita el curado a campo, pero también podría ser un indicador de variabilidad en ciclos, lo cual dificulta la logística de las tareas. PB_C, en cambio, registró promedios superiores o similares a otros trabajos (Altieri Bequio et al., 2003; Ballestrino & Varga, 1999; Peluffo et al., 2008; Rodríguez et al., 2009), cuyos pesos promedios en cosecha generalmente rondan los 130 o 140 gramos por bulbo, lo cual es coherente dada la densidad de siembra de este experimento, menor a las habituales en nuestro país, que normalmente superan las 20 plantas por metro cuadrado. Para comprender esto, es relevante tomar en cuenta que la selección de bulbos para el mantenimiento del cultivar, realizada cada año por el Centro Regional Sur, se basa principalmente en el tamaño de los bulbos individuales, lo cual parece haber producido resultados satisfactorios.

Los rendimientos (Tabla 7), tanto del testigo PdS como de las familias de medios hermanos, fueron similares a otros reportados en la misma variedad, ajustando por la densidad de cada caso (Altieri Bequio et al., 2003; Arboleya et al., 2009; Docampo et al., 2010; Peluffo et al., 2008; Rodríguez et al., 2009). Esto confirma lo visto previamente en PB_C: no se observa una tendencia a la disminución de rendimientos o pesos de bulbo a lo largo del tiempo.

V_V113 y V_V119 fueron las dos variables con mayores coeficientes de variación de todas (Tabla 7). Esto se explica parcialmente por la forma en que se expresa la variable, pero también por su distribución particular, en la cual la mayoría de las parcelas no presenta vuelco (0%) y algunas presentan vuelcos elevados. Es probable también que el tamaño de muestra, con solamente un dato por parcela, haya tenido un efecto en la dispersión detectada. Por otra parte, el elevado vuelco en la tercera semana de diciembre es contrastante con lo reportado por Peluffo et al. (2008), que indica un 60% de vuelco el 9 de diciembre para el cultivar, y por Altieri Bequio et al. (2003), que detectó una media de 32 días desde el inicio de bulbificación hasta la cosecha, cuando en este trabajo, el vuelco de cosecha se alcanzó a los 39 días en la mayor parte de las parcelas, es decir, más tardíamente que en los reportes mencionados. Ballestrino y Varga (1999), además de detectar, también, un vuelco medio más temprano (115 días), hallaron una menor dispersión en esta variable, con un coeficiente de variación de 9.7%. Esto último no es directamente comparable con este trabajo, porque la variable está expresada como días desde el trasplante a la cosecha, y no como porcentaje de vuelco en una fecha específica, pero evidencia una variabilidad mucho menor.

Para la significancia de los efectos de familia en las variables estudiadas (Tabla 8), no hay referencias bibliográficas comparables en Pantanoso del Sauce, ya que no existen trabajos publicados con comparaciones entre familias de medios hermanos en dicho cultivar. Se detectaron diferencias significativas entre materiales para todas las variables, salvo NH_M85, A_M54, IAF_N y Y_G. En los dos últimos, es probable que el tamaño de muestra haya sido determinante, por la menor capacidad de detectar diferencias. Por otra parte, el p-valor de Y_G, que es apenas superior a 0.05, contrasta con el de PB_C, ya que ambas variables provienen de los mismos bulbos y están fuertemente correlacionadas (Figura 18), por lo tanto, es posible suponer que sí existen diferencias muy importantes entre familias, que no fueron detectadas por el tamaño de la muestra.

En las figuras de medias ajustadas y errores estándar se observa más claramente el efecto del tamaño de muestra para la obtención de indicadores en cada variable y permite comprender algunos resultados obtenidos previamente en los análisis de varianza. A_M111 (Figura 9), que contó con 15 datos por familia y 30 por testigo (cinco plantas por parcela en cada uno de los tres bloques, con dos parcelas por bloque en el caso de los testigos) detectó diferencias entre familias, y muestra errores estándar menores que en las otras tres variables, permitiendo de mejor manera la identificación de diferencias estadísticas. Para IB_N (Figura 11) y IAF_N (Figura 10) se contó con 6 datos por familia y 12 por testigo. En estos dos casos, además, se observa el efecto de la variabilidad de cada característica: IB_N, que registró diferencias significativas entre familias en el análisis de varianzas, tuvo menores coeficientes de variación que IAF_N, que no las detectó, y, además, los errores estándar del primero son mucho menores en términos relativos que en el segundo. Finalmente, Y_G (Figura 12), con un tamaño de muestra aún menor (tres datos por familia y seis por testigo), también tuvo errores estándar elevados. Esta información sobre la dispersión natural de las características es de gran importancia, ya que incide en el tamaño de muestra requerido para estudiar adecuadamente cada una.

Las variables con tres o más familias diferentes a PdS (Tabla 9) en el test de Dunnett (A_M111, IB_N, NH_C, A_C, IB_C, V_V113, V_V119 y V_V125) están muy asociadas a la fenología del cultivo, con la excepción de A_M111 (cuyos valores son similares a los de alturas en muestreos previos, no mostrando evidencias de senescencia), y las diferencias halladas indican ciclos más tardíos en las familias diferentes, esto es, familias con índices de bulbificación menores en noviembre (por lo tanto, bulbificación más tardía), mayor follaje en el momento de cosecha por un retraso en la senescencia, y niveles de vuelco menores, especialmente en la primera y segunda semana de diciembre, en comparación con PdS. Esto tiene relevancia en el mejoramiento, debido a que es deseable que exista la mayor homogeneidad fenológica posible para facilitar la logística de las tareas del cultivo.

En los tres muestreos de campo se detectó mucha más homogeneidad con respecto al testigo PdS, lo que permite suponer que las diferencias en variables de follaje en cosecha se deben a variabilidad en el ciclo, y no en el vigor de las familias. En el caso del porcentaje de vuelco, además, la gran cantidad de familias con valores menores que PdS indica que hay muchas familias una o dos semanas más tardías, es decir, que se diferenciaron, siempre por debajo, en los dos primeros muestreos, y no lo hicieron en el tercer muestreo. Esto es contrastante, como se desarrolló previamente, con lo reportado por Ballestrino y Varga (1999), quienes hallaron una variabilidad mucho menor en la fecha de cosecha del cultivar. En las mediciones directas de bulbo (pesos, diámetros y rendimiento) existió menor variabilidad, con solamente una o ninguna familia diferente, lo cual se tradujo en el rendimiento, donde ninguna familia se diferenció del testigo.

En el test de Dunnett de A_M111 (Figura 13), la existencia de familias tanto superiores como inferiores permite suponer que PdS se ubicó en una posición intermedia, en concordancia con lo observado en el ránking de medias ajustadas de la misma variable (Figura 9), en el cual dicho testigo no apareció entre los valores extremos. IAF_N (Figura 14), en la cual PdS se encuentra entre los materiales de menores valores (Figura 10), registró dos familias significativamente superiores, al contrario de lo esperable según el análisis de varianza, y, probablemente, explicado por las posiciones extremas de los materiales contrastantes. Con IB_N (Figura 15) ocurre algo similar a la inversa: PdS se encontró entre los materiales de mayor media (Figura 11), y registró diferencias significativas con los cinco materiales de menores medias, lo cual indica la existencia de materiales más tardíos, como se indicó previamente. Esto puede tener implicancias a nivel de manejo, por la falta de uniformidad fenológica ya mencionada, que también es visible en la poca diferencia que existe entre algunas familias y Yakama, que es un cultivar de ciclo largo. Finalmente, Y_G no registró familias diferentes a PdS (Figura 16), resultado probablemente determinado por la posición intermedia de PdS en el ranking de medias ajustadas (Figura 12) y el tamaño de muestra reducido para esta variable.

6.2. Componentes de varianza, heredabilidad y correlaciones entre variables

No existen trabajos similares sobre heredabilidad de caracteres en medios hermanos pertenecientes a un mismo cultivar de cebolla. El de Ballestrino y Varga (1999), que es el trabajo más asimilable a éste, no reporta directamente heredabilidades, pero sí varianzas entre y dentro de líneas autofecundadas de Pantanoso del Sauce. La variable que expresó proporcionalmente mayor varianza entre familias autofecundadas fue el largo del ciclo desde el trasplante hasta la cosecha, que es una variable de ciclo, al igual que IB_N en este experimento, que obtuvo la mayor heredabilidad entre las cuatro variables estudiadas (Figura 17). En la tesis mencionada, las variables con mayor peso relativo de las varianzas dentro de familias S1 (y, por lo tanto, menor peso de las diferencias entre familias) fueron diámetro, peso y forma de

bulbo. Otros trabajos han reportado heredabilidad en sentido amplio calculada a partir de varios cultivares diferentes, en los que han obtenido, para la mayoría de los caracteres asociados a rendimiento, fenología y desarrollo vegetativo, valores elevados, superiores a 0.8 (Santra et al., 2017) o incluso mayores (Ochar et al., 2026). En otros casos, los indicadores de altura y número de hojas tienen heredabilidades medias, alrededor de 0.6, pero el rendimiento continúa siempre por encima de 0.95 (Amir et al., 2023; Bal et al., 2022). Estos valores elevados probablemente estén afectados por la variabilidad creada en estos trabajos (que, por otra parte, se realizaron en centros de diversidad de la cebolla), y por la ausencia de selección para rendimiento al momento del cálculo de la heredabilidad. Un enfoque un poco más comparable al de este trabajo fue empleado por Cardoso y Costa (2003), que evaluaron medios hermanos, provenientes de un híbrido triple. La base genética es, como en la bibliografía anteriormente mencionada, mayor que la de este trabajo, ya que los cultivares parentales eran muy diferentes, pero se observa, concretamente en los ejemplares tardíos, la misma tendencia de mayor heredabilidad en las variables fenológicas, y menor heredabilidad del rendimiento. En el trabajo de Porta Umpierrez (2010), se reportó que el largo máximo de follaje, comparable con A_M85, tuvo mayor heredabilidad que el índice de bulbificación (0.427 contra 0.313), pero éste último fue más heredable que las otras variables vegetativas y de bulbo. Segundo et al. (2022) evaluaron líneas con 5 generaciones de autofecundación o cruzamientos entre hermanos, partiendo de VPAs brasileñas y cultivares estadounidenses de cebolla, y, nuevamente, la variable más heredable fue la duración del ciclo desde siembra hasta cosecha, mientras que el rendimiento y las variables de desarrollo vegetativo, asimilables a IAF_N, tuvieron los menores valores. la mayoría de estos experimentos registraron heredabilidades de rendimientos superiores a la de este trabajo, lo cual tiene sentido, ya que las poblaciones, por un lado, involucraron bases genéticas más amplias (con la excepción de Ballestrino & Varga, 1999), y, por otro, no estuvieron sujetas a ciclos continuos de selección por tamaño de bulbo, como sí ocurrió en Pantanoso del Sauce a la fecha de este trabajo. Poehlman y Sleper (1995) afirman que la heredabilidad de una característica para una especie sólo es generalizable si se obtienen valores similares en diversos ambientes y poblaciones, cosa que no es esperable en un atributo tan afectado por condiciones ambientales como el rendimiento. Más allá de esto último, existen en general indicios de que, al menos en la región y entre materiales no excesivamente diversos, las variables fenológicas son más heredables que las relacionadas con el desarrollo foliar o el rendimiento. Esta información es valiosa, ya que permite suponer la posibilidad de avances importantes al seleccionar materiales por ciclo, o por estabilidad del ciclo, lo cual interesa para el mantenimiento de cultivares.

Sobre lo anteriormente desarrollado en relación a la heredabilidad, existen trabajos similares realizados en otras especies alógamas, en variedades de polinización abierta (aunque generalmente en cultivares cercanos entre sí y no en un único cultivar) que apuntan en la misma dirección. Qureshi y Khalil (2019) evaluaron la heredabilidad en varios caracteres de interés agronómico en catorce variedades de polinización abierta de maíz, y obtuvieron valores entre 0.57 y 0.76 para variables de ciclo, y 0.1 para el rendimiento de grano. Asungre et al. (2021) realizaron una evaluación similar en 22 VPAs de mijo perla provenientes de Ghana y Níger, reportando heredabilidades de 0.775 para días a floración y de 0.248 para rendimiento de grano. En ambos trabajos, las variables de ciclo y de rendimiento registraron los valores extremos (máximos y mínimos, respectivamente) en el conjunto de las variables estudiadas.

La comparación entre heredabilidades a nivel de planta y a nivel de familia puede ser utilizada como indicador del tipo de selección a realizar. Por ejemplo, IB_N tuvo una mayor heredabilidad a nivel de planta que a nivel de familia, lo cual significa que es más importante el desvío de cada planta de la media por sus alelos particulares, que el desvío de cada familia (en su promedio) de la media poblacional o, en otras palabras, que la

selección de plantas individuales promete mayores avances. Lo mismo ocurre en Y_G. En IAF_N y A_M111, en cambio, es superior la heredabilidad de familia, lo cual, a la inversa de lo anterior, significa que pesan más las diferencias genéticas entre familias en su conjunto que las diferencias a nivel de planta, y que la selección por familias de medios hermanos podría producir mayores respuestas.

A_M111 registró correlaciones elevadas, superiores a 0.5, con A_M85, A_C y NH_M85 (Figura 18). Esto parece indicar que, desde que comienza la bulbificación, las plantas con mayor desarrollo vegetativo siguen superando a las restantes durante el resto del ciclo, lo cual no ocurre con las variables vegetativas del primer muestreo (A_M54 y NH_M54), que presentan correlaciones muy débiles con A_M111. Otra correlación elevada que se observa es la de A_M111 con DC_C, lo cual tiene sentido, dado que un mayor desarrollo foliar se relaciona con cuellos de mayor diámetro al momento de la cosecha, lo que podría derivar en problemas de conservación. La única correlación negativa superior a 0.25 que registra A_M111 es con IB_N, probablemente, debido a que las plantas de ciclo más temprano (con un mayor índice de bulbificación en noviembre) presentan una senescencia temprana del follaje.

IB_N registró principalmente correlaciones débiles (a excepción de las evidentes, PB_N y DB_N, debido a la construcción del indicador). Con los indicadores vegetativos desde el inicio de la bulbificación en adelante, tuvo una correlación negativa, especialmente con los de cosecha (coeficientes entre -0.4 y -0.5). Las correlaciones con las variables de vuelco fueron muy bajas. IAF_N, del mismo muestreo, tuvo correlaciones bajas en todos los casos salvo en las variables del muestreo de noviembre. Las correlaciones con las variables de tamaño de bulbo (Y_G, PB_C, DB_C) también fueron bajas en comparación con las correlaciones entre estimaciones de área foliar y de tamaño de bulbo realizadas por otros trabajos, como el de Savulsky (2014), que reporta una correlación de 0.82 entre área foliar y diámetro de bulbo (0.11 en este trabajo) o el de Dogliotti et al. (2021), de 0.75 entre IAF y rendimiento. Tampoco registró correlaciones con las variables de vuelco. Es posible que el tamaño de muestra utilizado en IAF_N e IB_N, de únicamente dos plantas por unidad experimental, haya sido insuficiente para captar la realidad de cada parcela.

Y_G correlacionó más fuertemente con NH_M85 y NH_M111 que con las alturas de follaje en las mismas fechas, lo cual podría tener relevancia para la investigación en este cultivo, ya que el número de hojas es una variable operativamente más simple de muestrear que la altura de follaje. Savulsky (2014) y Lakshmi (2015) también reportaron mayores correlaciones de rendimiento (o peso de bulbos) con el número de hojas que con la altura. Por otra parte, las correlaciones de Y_G con indicadores vegetativos a inicio de bulbificación (A_M85, NH_M85) fueron algo superiores a los mismos indicadores cerca de cosecha (NH_M111, A_M111), y los cuatro anteriores fueron mucho mayores que los registrados durante la cosecha (A_C, NH_C). Las variables restantes, sin considerar a DB_C y PB_C que están evidentemente relacionadas, correlacionan débilmente con Y_G, incluidas PB_N y DB_N. Esto indica que no necesariamente las plantas con bulbos más grandes a inicio de bulbificación son las de mayores rendimientos finales, a causa del acelerado crecimiento del bulbo ocurrido en ese período.

6.3. Identificación de familias similares a PdS

La variable de mayor proyección en el primer componente principal (CP1) es A_M111 (Tabla 11). Si bien los módulos vectoriales de A_M111, Y_G y IAF_N son similares, A_M111 explica más variabilidad en CP1 y CP2, ya que su aporte al primero, que expresa mayor variabilidad, es mayor que el de las otras dos variables. Y_G y IAF_N se ubican próximos, con un aporte similar a los dos primeros componentes principales,

con cierta correlación positiva con A_M111. IB_N aporta en el sentido contrario a las anteriores en el CP1, y explica menor cantidad de varianza.

En el biplot del Análisis de Componentes Principales (Figura 19) no se identificaron clusters separados de familias, sino un gran grupo que aglutina a la mayoría, y unos pocos materiales alejados. Yakama aparece muy apartado, diferenciándose en ambos componentes, y Armonía se encuentra sobre uno de los márgenes de ese gran grupo. El testigo PdS aparece, dentro del grupo principal, próximo a un extremo, diferenciándose de la mayoría de las familias, principalmente, en el CP1, notoriamente alejado de las coordenadas de los vectores de Y_G, A_M111 y IAF_N. Esto podría plantear un dilema en el mantenimiento, ya que, aparentemente, las familias más similares a PdS no se destacan en esas tres variables. Dentro de la dispersión observada en el gráfico, por otra parte, pueden identificarse familias con buenas condiciones aparentes, como la 62, alejada del centro en la misma dirección, y ubicada muy próxima a las coordenadas de los vectores de Y_G y de IAF_N.

En términos de distancia euclídea ponderada a PdS (Figura 20), Y_G es la característica que más diferencia a las familias alejadas de ese testigo, aunque también se observa una gran influencia de IAF_N. Esta información complementa y complejiza lo visto en los análisis de varianzas y tests de Dunnett, que sugerían poca variabilidad en ambas características, y permite suponer que estos resultados no se debían a pocas diferencias entre familias, sino más bien a gran variabilidad dentro de familias, afectada, también, por el tamaño de muestra. Las familias más similares, en cambio, parecen diferenciarse más por IB_N, aunque también hay un componente importante de Y_G.

Los cálculos de distancias multivariadas a PdS (Tabla 12) demostraron algunas diferencias, ya que el número de familias coincidentes entre pares fueron desde 18 a 22, de los 25 en cada selección. 15 de las familias aparecieron en los 25 más similares en las cuatro selecciones (anexo A), es decir, fueron consistentemente similares al testigo en los criterios de ponderación agronómica, correlaciones y ponderación por heredabilidad, por lo que, en base a estos criterios, no habría, en principio, motivos para descartar ninguno de ellos. Esas 15 familias podrían ser una base genética insuficiente para el mantenimiento, debido al número y al probable parentesco que ya tengan entre sí, de manera que es posible seleccionar, además, las cinco siguientes, que alcanzaron tres de los cuatro rankings de similitud, o las seis siguientes a estas últimas, que alcanzaron dos. Esto permitiría disponer de material relativamente homogéneo, similar al testigo PdS, pero, a su vez, con un pool génico que evite la depresión endogámica. Los coeficientes de variación de IB_N, por otra parte, se mantuvieron estables, similares al del testigo.

6.4. Selección de familias con potencial para mejoramiento

Las dos selecciones realizadas de materiales para mejoramiento son similares entre sí, con rendimientos y desarrollo foliar superiores a PdS (Tabla 14). La respuesta esperada a la selección es bastante menor que los diferenciales obtenidos, debido a la baja heredabilidad de características, pero podría estar justificada por la importancia que tienen esas características, y por la facilidad operativa y bajo costo de seleccionar estos materiales ya identificados. Nuevamente, la dispersión del IB_N se mantuvo estable, similar a PdS, aunque los valores medios de IB_N fueron algo inferiores, de manera que los progresos genéticos realizados no provocarían un desajuste fenológico importante. Estos valores fueron, en promedio, mayores para el criterio RAH (más cercanos al valor deseable de PdS), probablemente debido a la mayor heredabilidad de la variable IB_N. Por otra parte, este componente de la puntuación parece ser útil en el mejoramiento, debido a la alta heredabilidad de la característica, a las diferencias importantes detectadas en términos de ciclo en este trabajo, y a la importancia operativa que tiene

en términos agronómicos, tanto para la planificación de la cosecha como de otras tareas que requieren consideraciones fenológicas, entre ellas, la fertilización nitrogenada.

Las tablas de familias mejor puntuadas en ambos criterios (Tablas 15 y 16) son bastante similares. Aparecen algunas familias con características sobresalientes, siendo las más notables las 45 y 62 (esta última, además, tuvo valores significativamente superiores a PdS en IAF_N, en el test de Dunnett, de la Figura 14, pese a la baja intensidad de muestreo de la variable), con rendimientos muy elevados y valores muy homogéneos de IB_N. Para aprovechar adecuadamente estas características, debe tomarse en cuenta que la reducción del pool genético poblacional del cultivar podría implicar una depresión por consanguinidad, a lo cual la cebolla es muy susceptible. La selección, como se propone en este trabajo, de un conjunto de materiales con buenas características mientras se mantiene la diversidad genotípica sí podría producir una población con buen desempeño productivo y una base genética lo suficientemente amplia.

7. CONCLUSIONES

Dentro del cultivar Pantanoso del Sauce existe una variabilidad importante para la mayoría de las características estudiadas. Esto tiene implicancias a nivel del mantenimiento del cultivar, que requiere una preservación razonable de las características a lo largo del tiempo, y también en relación a posibles líneas de mejoramiento futuras, por la existencia de familias con características deseables. Además, es probable que otros cultivares liberados por el Centro Regional Sur (como Armonía, Campera y Canarita), emparentados con Pantanoso del Sauce, presenten similitudes en su composición poblacional, y en algunas dinámicas de la evolución genética que se observan en este trabajo.

Algunas características evidencian una dispersión importante, especialmente las asociadas a la fenología del cultivo, como ocurre en los casos de semana de vuelco o índice de bulbificación. Esto tiene relevancia por ser una variable importante para el cultivo de cebolla, y no observable directamente al momento de la selección de bulbos para semilleros, como sí ocurre con el tamaño de bulbo, que correlaciona fuertemente con el rendimiento. Podrían considerarse, para la homogeneización de ciclos, medidas de manejo destinadas a este fin, tales como realizar cosechas cada algunos días o semanalmente de todas las plantas volcadas hasta ese momento, manteniendo la identificación de las plantas volcadas en cada fecha, o simplemente conservar para el mantenimiento del cultivar únicamente los bulbos de las plantas que volcaron en un intervalo de tiempo específico, combinando este criterio con los que ya se han implementado (tamaño y forma de bulbos).

Se identificaron algunas familias que reúnen muy buenas condiciones en las cuatro variables estudiadas, con potencial para mejoramiento, para lo cual, sin embargo, deben ser consideradas las bajas heredabilidades obtenidas para las variables en este cultivar en este trabajo, y las bajas varianzas entre familias reportadas por Ballestrino y Varga (1999). Por ejemplo, parece ser más eficaz la selección para ciclos uniformes que para rendimientos mayores, a pesar de la menor importancia relativa de la primera con respecto a la segunda. El método de selección por familias de medios hermanos permitió la detección de materiales promisorios, con un costo económico y una carga de trabajo inferiores a otros métodos de selección.

Este trabajo deja, también, algunos aportes metodológicos para estudios similares. Por ejemplo, hay indicios de que el rendimiento sí presenta diferencias entre familias, y que no pudieron ser detectadas por la baja intensidad de muestreo. Es posible que con otro tipo de diseño de muestreos sea posible encontrar diferencias que no fueron halladas en este trabajo, para lograr una caracterización más precisa de la población.

Finalmente, para el mantenimiento de Pantanoso del Sauce, se proponen selecciones de familias, con distintos criterios, que se espera que logren preservar razonablemente los atributos del cultivar, manteniendo la variabilidad en rangos controlados, pero, a la vez, conservando diversidad genética en la población, para disponer de adaptabilidad a diferentes condiciones.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ackermann, M. N., Aguirre, E., Cortelezzi, Á., Gorga, L., Mila, F., & Sanguinetti, M. (2024). Estimación de la participación económica de la producción familiar entre 2018-2022 en Uruguay. En *Anuario OPYPA 2024*. MGAP. https://descargas.mgap.gub.uy/OPYPA/Anuarios/Anuarioopypa2024/ESTUDIOS/5/E5web/E5-Estimaciondelaparticipacion.pdf

Ackermann, M. N., & Díaz, A. (2019). Horticultura: Situación y perspectivas. En *Anuario OPYPA 2019* (pp. 269-288). MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-opypa-2019

Aldabe Dini, L. (2000). *Producción de hortalizas en Uruguay*. Epsilon.

Altamirano, A., da Silva, H., Duran, A., Echevarría, A., Panario, D., & Puentes, R. (1976). *Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay. Tomo I: Clasificación de suelos.* MAP. https://descargas.mgap.gub.uy/DGRN/Comunicaciones/carta_de_reconocimiento_de_suelos_Tomo_I.pdf

Altieri Bequio, M., Leys Souza, P., & Mancuello Pippo, M. (2003). *Crecimiento y rendimiento de la cebolla (Allium cepa L.) Pantanoso del Sauce CRS bajo diferentes regímenes de riego, densidad y fertilización con nitrógeno* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. https://hdl.handle.net/20.500.12008/25377

Amir, A., Sharangi, A. B., Bal, S., Upadhyay, T. K., Khan, M. S., Ahmad, I., Alabdallah, N.M., Saeed, M., & Thapa, U. (2023). Genetic variability and diversity in red onion (*Allium cepa L.*) genotypes: Elucidating morpho-horticultural and quality perspectives. *Horticulturae, 9*(9), Artículo e1005. https://doi.org/10.3390/horticulturae9091005

Arboleya, J. (2005). Manejo del cultivo. En J. Arboleya (Ed.), *Tecnología para la producción de cebolla* (pp. 43-75). INIA. https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2025-11/bd-88-2005.pdf

Arboleya, J., Gilsanz, J., Villamil, J., & Rodríguez, J. (2005). Manejo de malezas en el cultivo de cebolla. En J. Arboleya (Ed.), *Tecnología para la producción de cebolla* (pp. 141-150). INIA. https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2025-11/bd-88-2005.pdf

Arboleya, J., Maeso, D., Falero, M., & Campelo, E. (2009). Estudio del comportamiento de enfermedades foliares en distintas alternativas de control en Canelón Grande y Las Brujas. En *Jornada Anual de Presentación de Resultados de Investigación en Cebolla* (pp. 105-108). INIA.

Arias Pandolfo, M., Galván Vivero, G. A., Berrueta Moreira, M. C., Ferrando Urrutia, M. G., Scarlato García, M., González Barrios, P., & Betancor, T. (2025). Informe final del proyecto: Efecto de la disponibilidad de nitrógeno sobre la susceptibilidad al mildiú de la cebolla. ANII. https://redi.anii.org.uy/jspui/handle/20.500.12381/3944

Asungre, P. A., Akromah, R., Kena, A. W., & Gangashetty, P. (2021). Genotype by environment interaction on grain yield stability and iron and zinc content in OPV of pearl millet in Ghana using the AMMI method. *International Journal of Agronomy, 2021*, Artículo e9656653. https://doi.org/10.1155/2021/9656653

Bal, S., Maity, T. K., & Maji, A. (2022). Assessment of genetic variability, heritability and genetic gain for yield and quality traits in onion (*Allium cepa* L.). *International Journal of Bio-resource and Stress Management, 13*(7), 674-682. https://doi.org/10.23910/1.2022.2919

Ballestrino, L., & Varga, C. (1999). *Variabilidad intra-poblacional de dos tipos locales de cebolla (Allium cepa L.) y de sus líneas endocriadas derivadas* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. https://hdl.handle.net/20.500.12008/45505

Bernardo, R. (2002). *Breeding for quantitative traits in plants*. Stemma Press.

Brewster, J. L. (2008). *Onions and other vegetable alliums*. CABI.

Brewster, J. L., & Rabinowitch, H. D. (1990). *Onions and allied crops. Volume I: Botany, Physiology, and Genetics*. CRC Press.

Campelo, E., & Arboleya, J. (2005). Actualidad de la producción de cebolla en Uruguay. En J. Arboleya (Ed.), *Tecnología para la producción de cebolla* (pp. 1-15). INIA. https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2025-11/bd-88-2005.pdf

Carballo, S., & Maeso, D. (2005). Manejo poscosecha. En J. Arboleya (Ed.), *Tecnología para la producción de cebolla* (pp. 211-220). INIA. https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2025-11/bd-88-2005.pdf

Cardoso, A. I. I., & Costa, C. P. D. (2003). Selection for bulb maturity in onion. *Scientia Agricola, 60*(1), 59-63. https://doi.org/10.1590/S0103-90162003000100009

Casares, I. (2016). Horticultura: Zafra 2014/15. En *Anuario Estadístico Agropecuario 2016*. MGAP. https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Documentos%20compartidos/Anuario2016/DIEA-Anuario2016cd.pdf

Centro Regional Sur. (2000). *Descripción de Pantanoso del Sauce CRS: Cultivar de cebolla de cosecha en diciembre con alta conservación poscosecha*. Universidad de la República.

Chiesa, A., & Frezza, D. (2018). *Hortalizas: Ecofisiología, tecnología de producción y poscosecha*. Hemisferio Sur.

Ciampitti, I., & García, F. (2007). Requerimientos nutricionales: Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios: II. Hortalizas, frutales y forrajeras. *Archivo Agronómico, 12*. https://www.researchgate.net/publication/251813923_Requerimientos_nutricionales_Absorcion_y_extraccion_de_macronutrientes_y_nutrientes_secundario

Cuadro Ghan, M., Vidal André, R., & Bianco Bozzo, M. (2024). Procesos culturales y conocimientos tradicionales asociados a variedades criollas en tres localidades uruguayas. *Revista de Economia e Sociologia Rural, 62*(1), Artículo e269359. https://doi.org/10.1590/1806-9479.2022.269359

Díaz, I., & Achkar, M. (2009). Soberanía alimentaria y dimensión espacial: La horticultura en Uruguay, un análisis multiescalar. *Pampa (Santa Fe)*, (5), 177-196. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2314-02082009000100008&lng=es&tlng=es

Dirección General de Granja. (2025). *Reporte anual del Registro Nacional Frutihortícola*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/noticias/reporte-anual-2025-del-registro-nacional-frutihorticola

Docampo, R., García, C., & Rabuffetti, A. (2010). Evolución del rendimiento y de las propiedades del suelo en diferentes secuencias de cultivos en producción hortícola. En *Seminario de actualización técnica: Manejo de suelos para producción hortícola sustentable* (pp. 59-67). INIA.

Dogliotti, S., Scarlato, M., Berrueta, C., Barros, C., Rehermann, F., Rieppi, M., Inetti, C., Soust, G., & Borges, A. (2021). *Análisis y jerarquización de factores determinantes de las brechas de rendimiento y calidad en los principales cultivos hortícolas del Uruguay*. INIA.

Dogliotti, S., & Tommasino, H. (1991). *La semilla hortícola en el Uruguay*. Agrodata S. C.

Fehr, W. R. (1987). *Principles of cultivar development*. Macmillan.

Galván, G., Arias, M., Curbelo, N., Záccari, F., & Arboleya, J. (2015). Mejora del curado a campo de la cebolla mediante sombreado con mallas plásticas. En *Jornada de Divulgación: Cultivos de Cebolla* (pp. 24-34). INIA.

Galván, G., González, H., & Vilaró, F. (2005). Estado actual de la investigación en poblaciones locales de hortalizas en Uruguay y su utilización en el mejoramiento. *Agrociencia (Uruguay), 9*(1-2), 115-122. https://www.researchgate.net/profile/Guillermo-Galvan/publication/278244410_Estado_actual_de_la_investigacion_en_poblaciones_locales_de_hortalizas_en_Uruguay_y_su_utilizacion_en_el_mejoramiento/links/557e15a708aeea18b777c3e5/Estado-actual-de-la-investigacion-en-poblaciones-locales-de-hortalizas-en-Uruguay-y-su-utilizacion-en-el-mejoramiento.pdf

Giménez, G., González Arcos, M., Rodríguez, G., Vicente, E., & Vilaró, F. (2014). *Catálogo de cultivares hortícolas*. INIA.

Google. (2026). [Unidad de Horticultura, Centro Regional Sur, Uruguay. Mapa]. Recuperado el 5 de mayo de 2026, de https://www.google.com/maps/@-34.617413,-56.2237965,217m/data=!3m1!1e3?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI2MTAyMC4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D

Hallauer, R. A., & Miranda, J. B. (1981). *Quantitative genetics in maize breeding*. Iowa State University Press.

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (2025). *Banco de datos agroclimáticos*. https://www.inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico

Instituto Nacional de Semillas. (s.f.). [Listado de cultivares inscritos en el Registro Nacional de Cultivares]. https://www.inase.uy/EvaluacionRegistro/RNC-RPC.aspx?v=y

Instituto Nacional de Semillas. (2014). *Res.: N° 158/014*. https://www.inase.uy/files/docs/F2E86AA6D146F545.pdf

Lakshmi, R. R. (2015). Studies on genetic variability, correlation and path analysis of yield and yield components in onion. *Journal of Horticultural Sciences, 10*(2), 237-241. https://doi.org/10.24154/jhs.v10i2.137

Maeso, D. (2005). Enfermedades del cultivo de cebolla. En J. Arboleya (Ed.), *Tecnología para la producción de cebolla* (pp. 151-178). INIA. https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2025-11/bd-88-2005.pdf

Mahajan, V., & Gupta, A. J. (2023). Onion: Breeding and genomics. *Vegetable Science, 50*(Special Issue), 244-260. https://doi.org/10.61180/vegsci.2023.v50.spl.10

Montgomery, D. C. (2010). *Diseño y análisis de experimentos* (2ª ed.). Limusa Wiley.

Naya, H., Marín, F., Langleib, M., & Castro, G. (2026). *Introducción a la Genética de Poblaciones y a la Genética Cuantitativa*. Universidad de la República.

Observatorio Granjero. (2025). *Anuario Estadístico UAM*. MGAP. https://uam.com.uy/wp-content/uploads/2026/04/Anuario-Estadistico-UAM-2025_Observatorio-Granjero.pdf

Ochar, K., Im, D., & Kim, S. H. (2026). Digital image-based morphometrics and mixed effects inference resolve environment sensitive and stable traits in onion (*Allium cepa L.*). *Scientific Reports, 16*(1), Artículo e9158. https://doi.org/10.1038/s41598-026-39943-0

Oficina de Estadísticas Agropecuarias & Dirección General de Granja. (2017). *Encuestas Hortícolas 2015-2016: Zonas Sur y Litoral Norte*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datos-y-estadisticas/estadisticas/encuestas-horticolas-2015-2016-zonas-sur-litoral-norte-344

Oficina de Estadísticas Agropecuarias & Instituto Nacional de Estadística. (2026). *Resultados: Censo General Agropecuario 2024 (Volumen 1)*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/Resultados_Volumen_I_0327.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2020). *Directrices voluntarias para la conservación y la utilización sostenible de variedades de los agricultores/ variedades locales.* https://doi.org/10.4060/ca5601es

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2025). *FAOSTAT*. https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL

Paullier, J. (2005). Manejo de plagas en el cultivo de cebolla. En J. Arboleya (Ed.), *Tecnología para la producción de cebolla* (pp. 201-210). INIA. https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2025-11/bd-88-2005.pdf

Peluffo, S., Regio, A., Costa, N., González Idiarte, H., & Galván, G. (2008). Ensayos de evaluación de cultivares de cebolla en el Centro Regional Sur. En *Jornada Anual de Presentación de Resultados de Investigación en Cebolla* (pp. 105-108). INIA.

Pérez, A., Pacheco, P., Romero, D., Malaquina, A. C., Taschdjian, M., Moreira, V., Osorio, F., Quijano, A., & Torterolo, A. (s.f.). *Manual de frutas y hortalizas en el Uruguay*. MGAP. https://eva.nutricion.udelar.edu.uy/pluginfile.php/93333/mod_resource/content/1/Manual%20FRUTAS%20Y%20HORTALIZAS%20EN%20EL%20URUGUAY.pdf

Pike, L. M. (1986). Onion breeding. En M. J. Bassett (Ed.), *Breeding vegetable crops* (pp. 357-394). AVI Publishing.

Pinzón Ramírez, H. (1996). Botánica, morfología y fisiología. En A. López Ávila (Ed.), *El cultivo del ajo y las cebollas en Colombia* (pp. 9-17). Corpoica; ICA; Pronatta.

Poehlman, J. M., & Sleper, D. A. (1995). *Breeding field crops* (4th ed.). Iowa State University Press.

Porta Umpierrez, B. (2010). *Variabilidad, heredabilidad y correlaciones de características de interés agronómico en una población local de cebolla (Allium cepa L.) y en sus líneas S1* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. http://hdl.handle.net/20.500.12008/1638

Productores hortícolas de Canelones exportarán 380 mil kilos de cebolla a Brasil. (12 de marzo de 2021). MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/noticias/productores-horticolas-canelones-exportaran-380-mil-kilos-cebolla-brasil

Qureshi, S. U. R., & Khalil, M. K. (2019). Assessment of heritability and genetic variabilty for morphological and yield contributing traits in open pollinated maize varieties. *American Journal of BioScience, 7*(6), 99-103. https://doi.org/10.11648/j.ajbio.20190706.13

Rieiro Castiñeira, A. (2025). El alimento en Uruguay: Intersecciones entre Estado, mercado y comunidad. *Revista de Ciencias Sociales, 38*(57), Artículo e217. https://doi.org/10.26489/rvs.v38i57.4

Rodríguez, G., Vilaró, F., Regio, A., Vicente, E., & González, M. (2009). Mejoramiento genético y producción de semilla de cebolla. En *Jornada Anual de Presentación de Resultados de Investigación en Cebolla* (pp. 27-32). INIA.

Romo-Pérez, M. L., Rekowski, A., & Zörb, C. (2026). Re-evaluating onion varieties in organic farming: Evidence from a decade of multi-environment trials. *European Journal of Agronomy, 174,* Artículo e127969. https://doi.org/10.1016/j.eja.2025.127969

Santos Texeira, C. E. de los. (2024). *Evaluación comparativa de cultivares de cebolla en tres fechas de siembra y trasplante* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Servicio de Corrección Bibliográfica. http://tesis.fagro.edu.uy/index.php/tg/catalog/download/255/197/6132?inline=1

Santra, P., Manna, D., Sarkar, H. K., & Maity, T. K. (2017). Genetic variability, heritability and genetic advance in kharif onion (*Allium cepa L.*). *Journal of Crop and Weed, 13*(1), 103-106. https://cwss.in/Journal/Complete_jurnal/Vol.13-No.1__20.pdf

Savulsky, A. (2014). *Caracterización de un ecotipo local de cebolla de Villaguay, Entre Ríos* [Trabajo final de especialización, Universidad Nacional del Litoral]. Biblioteca Virtual de la Universidad Nacional del Litoral. http://hdl.handle.net/11185/533

Segundo, V. C. V., Innecco, R., Freitas, J. A., Lima, E. N., Nogueira, A. P. O., & Luz, J. M. Q. (2022). Genetic parameters and diversity, and correlations in onion strains. *Revista Caatinga, 35*(02), 352-362. https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n211rc

Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, *52*(3-4), 591-611. https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591

Shigyo, M., & Kik, C. (2008). Onion. En J. Prohens & F. Nuez (Eds.), *Vegetables II: Fabaceae, Liliaceae, Solanaceae, and Umbelliferae* (pp. 121-159). Springer.

Vicente, C. E., Vilaró, F., Rodríguez, G., Galván, G., González, H., Spina, W., Reggio, A., Ibáñez, F., Pereira, G., & González, M. (2010). Cultivares de cebolla obtenidos por el mejoramiento genético nacional. *Revista INIA,* (22), 25-29.

Vilaró, F., Vicente, E., Pereyra, G., & Rodríguez, G. (2005). Cultivares y mejoramiento genético en cebolla. En J. Arboleya (Ed.), *Tecnología para la producción de cebolla* (pp. 31-42). INIA. https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2025-11/bd-88-2005.pdf

Yang, J., Kim, S. H., Gil, H. Y., Choi, H. J., & Kim, S. C. (2023) New insights into the phylogenetic relationships among wild onions (Allium, Amaryllidaceae), with special emphasis on the subgenera Anguinum and Rhizirideum, as revealed by plastomes. *Frontiers in Plant Science*, *14*, Artículo e1124277. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1124277

9. ANEXOS

Anexo A

Familias que aparecen en al menos dos selecciones de 25 más similares a PdS

Familia	Rankings	DE	DMP	DMC	DMPH
37	4	0.24	0.30	0.65	0.26
34	4	0.43	0.42	0.73	0.41
78	4	0.51	0.47	1.11	0.48
23	4	0.54	0.46	1.12	0.71
46	4	0.54	0.53	0.81	0.43
31	4	0.55	0.65	1.44	0.63
24	4	0.60	0.67	1.37	0.58
27	4	0.71	0.74	1.33	0.67
52	4	0.73	0.60	1.40	0.88
58	4	0.76	0.87	2.00	0.81
17	4	0.79	0.69	1.66	0.99
39	4	0.87	0.84	1.86	1.05
22	4	0.88	0.84	1.57	0.83
64	4	0.92	0.99	1.57	0.77
71	4	0.98	0.93	1.80	0.83
25	3	0.76	0.97	2.33	0.94
67	3	0.87	0.98	2.43	0.89
56	3	0.89	0.97	2.32	1.16
53	3	0.94	0.82	1.92	1.20
32	3	1.07	0.96	2.06	0.97
12	2	0.86	1.07	2.62	1.00
7	2	0.97	1.11	2.44	1.05
33	2	0.99	1.08	2.52	1.05
15	2	0.99	1.11	2.61	1.13
60	2	1.08	0.92	2.24	1.41
13	2	1.11	1.10	1.99	1.02

Nota. Los valores desde la tercera columna en adelante corresponden a cada una de las distancias.

Anexo B

25 familias más similares a PdS, distancia euclídea ponderada

Familia	A_M111	IAF_N	IB_N	Y_G	DE	CV_IB_N
37	50.87 ± 3.68	1.75 ± 0.32	2.22 ± 0.14	28.38 ± 4.26	0.24	24.19
34	55.51 ± 3.77	1.69 ± 0.32	2.27 ± 0.14	29.84 ± 4.26	0.43	20.21
78	55.40 ± 3.68	2.05 ± 0.32	2.25 ± 0.14	28.75 ± 4.26	0.51	29.87
23	47.13 ± 3.68	1.81 ± 0.32	2.51 ± 0.14	27.37 ± 4.26	0.54	30.17
46	52.00 ± 3.68	1.84 ± 0.32	2.34 ± 0.14	30.83 ± 4.26	0.54	12.76
31	46.00 ± 3.68	1.84 ± 0.32	2.28 ± 0.14	29.36 ± 4.26	0.55	16.43
24	48.33 ± 3.68	1.89 ± 0.32	2.20 ± 0.14	24.01 ± 4.26	0.60	25.27
27	52.40 ± 3.68	1.75 ± 0.32	2.09 ± 0.14	22.97 ± 4.26	0.71	25.42
52	57.53 ± 3.68	1.92 ± 0.32	2.01 ± 0.14	29.21 ± 4.26	0.73	23.64
25	47.87 ± 3.68	1.91 ± 0.32	1.97 ± 0.14	25.44 ± 4.26	0.76	34.07
58	50.33 ± 3.68	2.12 ± 0.32	2.03 ± 0.14	24.94 ± 4.26	0.76	22.34
17	58.67 ± 3.68	1.99 ± 0.32	1.98 ± 0.14	26.54 ± 4.26	0.79	17.31
12	46.53 ± 3.68	2.17 ± 0.32	2.00 ± 0.14	27.86 ± 4.26	0.86	15.96
67	59.20 ± 3.68	2.31 ± 0.32	2.37 ± 0.14	28.16 ± 4.26	0.87	30.27
39	56.73 ± 3.68	1.90 ± 0.32	1.92 ± 0.14	24.38 ± 4.26	0.87	16.37
22	55.07 ± 3.68	1.38 ± 0.32	2.08 ± 0.14	22.41 ± 4.26	0.88	23.76
56	54.60 ± 3.68	1.56 ± 0.32	1.83 ± 0.14	28.84 ± 4.26	0.89	13.59
64	48.07 ± 3.68	1.77 ± 0.32	2.32 ± 0.14	33.33 ± 4.26	0.92	15.87
53	60.33 ± 3.68	1.50 ± 0.32	1.92 ± 0.14	29.18 ± 4.26	0.94	17.52
7	49.87 ± 3.68	2.06 ± 0.32	1.94 ± 0.14	23.13 ± 4.26	0.97	14.26
71	52.07 ± 3.68	2.20 ± 0.32	2.15 ± 0.14	32.40 ± 4.26	0.98	16.47
54	51.13 ± 3.68	2.14 ± 0.32	1.83 ± 0.14	26.99 ± 4.26	0.99	18.17
33	51.53 ± 3.68	2.29 ± 0.32	1.95 ± 0.14	24.76 ± 4.26	0.99	8.90
15	50.47 ± 3.68	2.17 ± 0.32	1.90 ± 0.14	30.05 ± 4.26	0.99	15.62
18	53.60 ± 3.68	1.71 ± 0.32	1.88 ± 0.14	32.11 ± 4.26	1.03	14.10
PdS	52.73 ± 2.60	1.83 ± 0.23	2.23 ± 0.10	28.26 ± 3.01	0.00	21.26

Anexo C

25 familias más similares a PdS, distancia de Mahalanobis clásica

Familia	A_M111	IAF_N	IB_N	Y_G	DMC	CV_IB_N
37	50.87 ± 3.68	1.75 ± 0.32	2.22 ± 0.14	28.38 ± 4.26	0.65	24.19
34	55.51 ± 3.77	1.69 ± 0.32	2.27 ± 0.14	29.84 ± 4.26	0.73	20.21
46	52.00 ± 3.68	1.84 ± 0.32	2.34 ± 0.14	30.83 ± 4.26	0.81	12.76
78	55.40 ± 3.68	2.05 ± 0.32	2.25 ± 0.14	28.75 ± 4.26	1.11	29.87
23	47.13 ± 3.68	1.81 ± 0.32	2.51 ± 0.14	27.37 ± 4.26	1.12	30.17
27	52.40 ± 3.68	1.75 ± 0.32	2.09 ± 0.14	22.97 ± 4.26	1.33	25.42
24	48.33 ± 3.68	1.89 ± 0.32	2.20 ± 0.14	24.01 ± 4.26	1.37	25.27
52	57.53 ± 3.68	1.92 ± 0.32	2.01 ± 0.14	29.21 ± 4.26	1.40	23.64
31	46.00 ± 3.68	1.84 ± 0.32	2.28 ± 0.14	29.36 ± 4.26	1.44	16.43
22	55.07 ± 3.68	1.38 ± 0.32	2.08 ± 0.14	22.41 ± 4.26	1.57	23.76
64	48.07 ± 3.68	1.77 ± 0.32	2.32 ± 0.14	33.33 ± 4.26	1.57	15.87
17	58.67 ± 3.68	1.99 ± 0.32	1.98 ± 0.14	26.54 ± 4.26	1.66	17.31
71	52.07 ± 3.68	2.20 ± 0.32	2.15 ± 0.14	32.40 ± 4.26	1.80	16.47
39	56.73 ± 3.68	1.90 ± 0.32	1.92 ± 0.14	24.38 ± 4.26	1.86	16.37
53	60.33 ± 3.68	1.50 ± 0.32	1.92 ± 0.14	29.18 ± 4.26	1.92	17.52
13	53.27 ± 3.68	2.03 ± 0.32	2.02 ± 0.14	33.61 ± 4.26	1.99	13.06
58	50.33 ± 3.68	2.12 ± 0.32	2.03 ± 0.14	24.94 ± 4.26	2.00	22.34
32	54.73 ± 3.68	2.34 ± 0.32	2.08 ± 0.14	31.83 ± 4.26	2.06	19.93
19	57.93 ± 3.68	1.58 ± 0.32	1.98 ± 0.14	34.26 ± 4.26	2.10	35.49
47	55.33 ± 3.68	2.01 ± 0.32	1.91 ± 0.14	32.71 ± 4.26	2.17	13.21
60	60.33 ± 3.68	1.90 ± 0.32	1.80 ± 0.14	27.83 ± 4.26	2.24	17.24
56	54.60 ± 3.68	1.56 ± 0.32	1.83 ± 0.14	28.84 ± 4.26	2.32	13.59
18	53.60 ± 3.68	1.71 ± 0.32	1.88 ± 0.14	32.11 ± 4.26	2.32	14.10
44	57.27 ± 3.68	2.36 ± 0.32	1.95 ± 0.14	29.83 ± 4.26	2.33	19.45
25	47.87 ± 3.68	1.91 ± 0.32	1.97 ± 0.14	25.44 ± 4.26	2.33	34.07
PdS	52.73 ± 2.60	1.83 ± 0.23	2.23 ± 0.10	28.26 ± 3.01	0.00	21.26

Anexo D

25 familias más similares a PdS, distancia de Mahalanobis ponderada

Familia	A_M111	IAF_N	IB_N	Y_G	DMP	CV_IB_N
37	50.87 ± 3.68	1.75 ± 0.32	2.22 ± 0.14	28.38 ± 4.26	0.30	24.19
34	55.51 ± 3.77	1.69 ± 0.32	2.27 ± 0.14	29.84 ± 4.26	0.42	20.21
23	47.13 ± 3.68	1.81 ± 0.32	2.51 ± 0.14	27.37 ± 4.26	0.46	30.17
78	55.40 ± 3.68	2.05 ± 0.32	2.25 ± 0.14	28.75 ± 4.26	0.47	29.87
46	52.00 ± 3.68	1.84 ± 0.32	2.34 ± 0.14	30.83 ± 4.26	0.53	12.76
52	57.53 ± 3.68	1.92 ± 0.32	2.01 ± 0.14	29.21 ± 4.26	0.60	23.64
31	46.00 ± 3.68	1.84 ± 0.32	2.28 ± 0.14	29.36 ± 4.26	0.65	16.43
24	48.33 ± 3.68	1.89 ± 0.32	2.20 ± 0.14	24.01 ± 4.26	0.67	25.27
17	58.67 ± 3.68	1.99 ± 0.32	1.98 ± 0.14	26.54 ± 4.26	0.69	17.31
27	52.40 ± 3.68	1.75 ± 0.32	2.09 ± 0.14	22.97 ± 4.26	0.74	25.42
53	60.33 ± 3.68	1.50 ± 0.32	1.92 ± 0.14	29.18 ± 4.26	0.82	17.52
22	55.07 ± 3.68	1.38 ± 0.32	2.08 ± 0.14	22.41 ± 4.26	0.84	23.76
39	56.73 ± 3.68	1.90 ± 0.32	1.92 ± 0.14	24.38 ± 4.26	0.84	16.37
58	50.33 ± 3.68	2.12 ± 0.32	2.03 ± 0.14	24.94 ± 4.26	0.87	22.34
60	60.33 ± 3.68	1.90 ± 0.32	1.80 ± 0.14	27.83 ± 4.26	0.92	17.24
71	52.07 ± 3.68	2.20 ± 0.32	2.15 ± 0.14	32.40 ± 4.26	0.93	16.47
32	54.73 ± 3.68	2.34 ± 0.32	2.08 ± 0.14	31.83 ± 4.26	0.96	19.93
25	47.87 ± 3.68	1.91 ± 0.32	1.97 ± 0.14	25.44 ± 4.26	0.97	34.07
44	57.27 ± 3.68	2.36 ± 0.32	1.95 ± 0.14	29.83 ± 4.26	0.97	19.45
56	54.60 ± 3.68	1.56 ± 0.32	1.83 ± 0.14	28.84 ± 4.26	0.97	13.59
67	59.20 ± 3.68	2.31 ± 0.32	2.37 ± 0.14	28.16 ± 4.26	0.98	30.27
64	48.07 ± 3.68	1.77 ± 0.32	2.32 ± 0.14	33.33 ± 4.26	0.99	15.87
35	56.53 ± 3.68	2.34 ± 0.32	1.90 ± 0.14	28.03 ± 4.26	1.00	19.61
70	64.00 ± 3.68	1.97 ± 0.32	1.84 ± 0.14	31.21 ± 4.26	1.06	21.44
12	46.53 ± 3.68	2.17 ± 0.32	2.00 ± 0.14	27.86 ± 4.26	1.07	15.96
PdS	52.73 ± 2.60	1.83 ± 0.23	2.23 ± 0.10	28.26 ± 3.01	0.00	21.26

Anexo E

25 familias más similares a PdS, distancia de Mahalanobis ponderada por relevancia agronómica y heredabilidad

Familia	A_M111	IAF_N	IB_N	Y_G	DMPH	CV_IB_N
37	50.87 ± 3.68	1.75 ± 0.32	2.22 ± 0.14	28.38 ± 4.26	0.26	24.19
34	55.51 ± 3.77	1.69 ± 0.32	2.27 ± 0.14	29.84 ± 4.26	0.41	20.21
46	52.00 ± 3.68	1.84 ± 0.32	2.34 ± 0.14	30.83 ± 4.26	0.43	12.76
78	55.40 ± 3.68	2.05 ± 0.32	2.25 ± 0.14	28.75 ± 4.26	0.48	29.87
24	48.33 ± 3.68	1.89 ± 0.32	2.20 ± 0.14	24.01 ± 4.26	0.58	25.27
31	46.00 ± 3.68	1.84 ± 0.32	2.28 ± 0.14	29.36 ± 4.26	0.63	16.43
27	52.40 ± 3.68	1.75 ± 0.32	2.09 ± 0.14	22.97 ± 4.26	0.67	25.42
23	47.13 ± 3.68	1.81 ± 0.32	2.51 ± 0.14	27.37 ± 4.26	0.71	30.17
64	48.07 ± 3.68	1.77 ± 0.32	2.32 ± 0.14	33.33 ± 4.26	0.77	15.87
58	50.33 ± 3.68	2.12 ± 0.32	2.03 ± 0.14	24.94 ± 4.26	0.81	22.34
22	55.07 ± 3.68	1.38 ± 0.32	2.08 ± 0.14	22.41 ± 4.26	0.83	23.76
71	52.07 ± 3.68	2.20 ± 0.32	2.15 ± 0.14	32.40 ± 4.26	0.83	16.47
52	57.53 ± 3.68	1.92 ± 0.32	2.01 ± 0.14	29.21 ± 4.26	0.88	23.64
67	59.20 ± 3.68	2.31 ± 0.32	2.37 ± 0.14	28.16 ± 4.26	0.89	30.27
25	47.87 ± 3.68	1.91 ± 0.32	1.97 ± 0.14	25.44 ± 4.26	0.94	34.07
32	54.73 ± 3.68	2.34 ± 0.32	2.08 ± 0.14	31.83 ± 4.26	0.97	19.93
17	58.67 ± 3.68	1.99 ± 0.32	1.98 ± 0.14	26.54 ± 4.26	0.99	17.31
12	46.53 ± 3.68	2.17 ± 0.32	2.00 ± 0.14	27.86 ± 4.26	1.00	15.96
13	53.27 ± 3.68	2.03 ± 0.32	2.02 ± 0.14	33.61 ± 4.26	1.02	13.06
7	49.87 ± 3.68	2.06 ± 0.32	1.94 ± 0.14	23.13 ± 4.26	1.05	14.26
39	56.73 ± 3.68	1.90 ± 0.32	1.92 ± 0.14	24.38 ± 4.26	1.05	16.37
33	51.53 ± 3.68	2.29 ± 0.32	1.95 ± 0.14	24.76 ± 4.26	1.05	8.90
10	54.80 ± 3.68	2.63 ± 0.32	2.13 ± 0.14	29.96 ± 4.26	1.06	22.96
15	50.47 ± 3.68	2.17 ± 0.32	1.90 ± 0.14	30.05 ± 4.26	1.13	15.62
4	53.27 ± 3.68	2.59 ± 0.32	2.01 ± 0.14	25.10 ± 4.26	1.13	14.57
PdS	52.73 ± 2.60	1.83 ± 0.23	2.23 ± 0.10	28.26 ± 3.01	0.00	21.26