

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**ANÁLISIS DE LA INTERACCIÓN GENOTIPO POR AMBIENTE Y
ESTABILIDAD DE CULTIVARES DE CEBOLLA EN EL CENTRO REGIONAL
SUR EN EL PERIODO 2006-2018**

por

Luciano Danilo TORTORELLA PONTÓN

**TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2021**

Tesis aprobada por:

Director: -----
Ing. Agr. PhD. Pablo González Barrios

Ing. Agr. MSc. Mariana Arias

B.C. Dra. Bettina Lado

Fecha: 21 de diciembre de 2021.

Autor: -----
Luciano Danilo Tortorella Pontón

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi familia por estar siempre presente en los buenos y malos momentos.

A Guillermo Galván por entender mi planteo y darme la posibilidad de realizar este tipo de trabajo.

A Pablo González Barrios por todo el tiempo dedicado, siempre con buena predisposición y con la incorporación de nuevas ideas.

A Mariana Arias por estar siempre disponible a mis consultas y por todo el apoyo técnico y moral realizado durante el transcurso de este trabajo.

A Sully Toledo por su amabilidad y las correcciones efectuadas a esta tesis.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1. <u>OBJETIVOS</u>	2
1.1.1. <u>Objetivo general</u>	2
1.1.2. <u>Objetivos específicos</u>	2
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1. <u>EL CULTIVO DE CEBOLLA</u>	3
2.1.1. <u>El cultivo de cebolla en Uruguay y a nivel mundial</u>	3
2.1.2. <u>Anatomía y fisiología del cultivo de cebolla</u>	3
2.1.3. <u>Componentes del rendimiento</u>	6
2.1.4. <u>Conservación poscosecha de la cebolla</u>	9
2.1.5. <u>Mejoramiento genético de cebolla en Uruguay</u>	10
2.2. <u>INTERACCIÓN GENOTIPO POR AMBIENTE</u>	12
2.2.1. <u>Introducción</u>	12
2.2.2. <u>Norma de reacción adaptación y adaptabilidad</u>	13
2.2.3. <u>Tipos de IGA</u>	13
2.2.4. <u>Estabilidad</u>	15
2.2.5. <u>Análisis de varianza</u>	15
2.2.6. <u>Modelos multiplicativos</u>	16
2.2.7. <u>Estudios de IGA en el cultivo de cebolla</u>	19
2.3. <u>COVARIABLES AMBIENTALES</u>	20
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	21
3.1. <u>DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS</u>	21
3.2. <u>ANÁLISIS ESTADÍSTICO</u>	24
3.2.1. <u>Curado de la base datos</u>	24
3.2.2. <u>Medias ajustadas y análisis de la IGA</u>	26
3.2.3. <u>Cálculo de covariables ambientales</u>	29
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	31
4.1. <u>ANÁLISIS DE LA RED DE ENSAYOS</u>	31
4.2. <u>COMPONENTES DE VARIANZA</u>	36
4.3. <u>ANÁLISIS DE IGA</u>	40
4.3.1. <u>Rendimiento comercial</u>	40

4.3.2. <u>Peso medio de bulbo total y comercial</u>	45
4.3.3. <u>Porcentaje comercial</u>	50
4.4. COVARIABLES AMBIENTALES.....	53
4.4.1. <u>Peso medio de bulbo total</u>	53
4.4.2. <u>Porcentaje comercial</u>	59
5. <u>CONCLUSIONES</u>	64
6. <u>RESUMEN</u>	66
7. <u>SUMMARY</u>	67
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	68
9. <u>ANEXOS</u>	77

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Características de los cultivares seleccionados para el análisis con al menos tres o más años de evaluación.....	27
2. Indicadores de tendencia central y de dispersión para las variables rendimiento comercial (RC, en Mg/ha), peso medio de bulbo total (PMBT, en g), peso medio del bulbo comercial (PMBC, en g) y porcentaje comercial (%COM, en %) de la red de ensayos según año.....	32
3. Componentes de varianza, proporción de la variabilidad total y heredabilidad en sentido amplio para las 4 variables en estudio en variedades tempranas.....	36
4. Componentes de varianza, proporción de la variabilidad total y heredabilidad en sentido amplio para las 4 variables en estudio en variedades semitardías y tardías...	37
Figura No.	
1. Diagrama de flujo que expresa la partición de los componentes del rendimiento en cebolla.....	6
2. Factores que afectan el rendimiento en la cebolla.....	7
3. Tipos de interacción genotipo por ambiente de dos genotipos (g1 y g2) en dos ambientes (a1 y a2).....	14
4. Caracterización de los ciclos de cultivos (fechas de siembra, trasplante, cosecha y duración de ciclo) para cada año de ensayo en las tres fechas de siembra.....	22
5. Plantines al momento del trasplante en la segunda fecha de siembra del ensayo 2011.....	23
6. Matriz de caracterización del número de genotipos evaluados por año y genotipos en común entre años para la red de ensayos.....	24

7. Base de datos inicial simplificada con las variables más relevantes en sus primeras 6 filas.....	25
8. Efecto de la IGA sobre variable rendimiento comercial (RC) para variedades tempranas y semitardías-tardías.....	41
9. Análisis de la IGA (AMMI biplot) en genotipos tempranos para la variable rendimiento Comercial (RC) de los 10 cultivares en los 9 ambientes evaluados.....	43
10. Análisis de la IGA (AMMI biplot) en genotipos semitardíos y tardíos para la variable rendimiento Comercial (RC) de los 15 cultivares en los 15 ambientes evaluados.....	44
11. Efecto de la IGA sobre variable peso medio de bulbo total (PMBT) para variedades tempranas y semitardías-tardías.....	46
12. Análisis de la IGA (AMMI biplot) en genotipos tempranos para la variable peso medio de bulbo total (PMBT) de los 10 cultivares en los 9 ambientes evaluados.....	47
13. Análisis de la IGA (AMMI biplot) en genotipos semitardíos y tardíos para la variable peso medio de bulbo total (PMBT) de los 15 cultivares en los 15 ambientes evaluados.....	49
14. Efecto de la IGA sobre la variable porcentaje comercial (%COM) para variedades tempranas y semitardías-tardías.....	50
15. Análisis de la IGA (AMMI biplot) en genotipos tempranos para la variable porcentaje comercial (%COM) de los 10 cultivares en los 9 ambientes evaluados.....	51
16. Análisis de la IGA (AMMI biplot) en genotipos semitardíos y tardíos para la variable porcentaje comercial (%COM) de los 15 cultivares en los 15 ambientes evaluados.....	52
17. Análisis de regresión PLS para los genotipos de fecha temprana y covariables ambientales para la variable agronómica PMBT.....	54

18. Análisis PLS regresión entre los genotipos de fechas semitardías- tardías y covariables ambientales para la variable agronómica PMBT.....	58
19. Análisis PLS regresión entre los genotipos de fecha temprana y covariables ambientales para la variable agronómica %COM...	60
20. Análisis PLS regresión entre los genotipos de fechas semitardías-tardías y covariables ambientales para la variable agronómica %COM.....	62

1. INTRODUCCIÓN

El mejoramiento genético de cebolla en Uruguay ha adquirido gran relevancia desde sus comienzos en el año 1980 con el proyecto de mejoramiento genético de hortalizas del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). La adaptación productiva o ecofisiológica expresada en rendimiento y conservación poscosecha, la calidad de los bulbos y la resistencia a enfermedades han sido los principales objetivos de dicho programa de mejoramiento (Vicente et al., 2010).

A partir de 1991 la Facultad de Agronomía (FAgro) inicia su programa de mejoramiento genético de hortalizas. El departamento de Producción Vegetal con ubicación en el Centro Regional Sur realiza anualmente ensayos de evaluación de cultivares de cebolla, como parte final de su esquema de funcionamiento. El objetivo de estas evaluaciones es analizar el desempeño productivo y sanitario cultivares nacionales, introducidos, germoplasma local y selecciones avanzadas de mejoramiento. Aunque a nivel productivo existen cultivares ya consolidados y conocidos, se busca monitorear la variabilidad entre años, en términos de comportamiento productivo, fisiológico y sanitario, incorporando nuevos materiales con potencialidad de ser nuevas variedades a liberar (Peluffo et al., 2011). Existe en la actualidad un gran volumen de información que luego de ser procesada, permitiría tener un mejor entendimiento del funcionamiento del programa de mejoramiento y las bases genéticas detrás del cultivo de cebolla, así como la identificación de factores ambientales que podrían limitar la expresión del potencial de rendimiento.

Este trabajo utilizó información del programa de mejoramiento genético de cebolla de una serie de 10 años de ensayos realizados por FAgro. Esta importante fuente de información permite realizar una evaluación de la performance productiva de genotipos a través de los años, permitiendo estimar los componentes de varianza, heredabilidades y el impacto de interacción genotipo por ambiente (IGA) en el programa de mejoramiento. En la actualidad el análisis de la IGA es una herramienta de gran importancia para la mayoría de los programas de mejoramiento vegetal ya que permite identificar materiales con diferentes tipos de adaptación y estabilidad (Abadie y Ceretta, 2001). A su vez, la evaluación del impacto de covariables ambientales sobre la expresión de diferentes características de interés resulta un aspecto relevante al momento de definir estrategias de cruzamiento, selección de padres y determinación de medidas de manejo óptimo para genotipos en particular.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

El objetivo de este trabajo fue analizar una serie de ensayos de evaluación de cultivares de cebolla realizados durante 10 años en el Centro Regional Sur de FAgro, evaluando la IGA e identificando las variables ambientales que limitan la expresión de potencial para un grupo de variables productivas de interés.

1.1.2. Objetivos específicos

- Describir y caracterizar la base de datos del programa de mejoramiento de cebolla de la Facultad de Agronomía - UdelaR en el periodo 2006-2018.
- Cuantificar y analizar la IGA para cuatro variables productivas de interés.
- Establecer qué genotipos presentan mejor comportamiento productivo en determinados ambientes.
- Identificar las covariables ambientales que tienen mayor incidencia en la expresión de variables productivas de interés.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. EL CULTIVO DE CEBOLLA

2.1.1. El cultivo de cebolla en Uruguay y a nivel mundial

La cebolla (*Allium cepa* L.) es una de las hortalizas de mayor importancia a nivel mundial. Está presente en la cultura alimentaria de todo el mundo (Brewster, 2008). En 2019 se destinaron al cultivo de cebolla 5,2 millones de hectáreas y la producción mundial fue de 99,9 millones de toneladas (FAO, 2019).

En Uruguay, la cebolla es la segunda hortaliza en cuanto al número de productores que la cultivan, con 914 productores involucrados. En la zafra 2014/2015 se obtuvieron 30438 toneladas (MGAP. DIEA, 2019). La cebolla significó un 5,4 % (17919 toneladas) del total de ingresos de frutas y hortalizas al Mercado Modelo en el año 2019 (CAMM, 2020).

El cultivo de cebolla, al igual que las demás hortalizas en Uruguay, se concentra en dos zonas de producción. La producción de cebollas de estación para almacenar se realiza en la zona Sur, principalmente en Montevideo y Canelones. En la zona Norte, en Salto y Bella Unión se realizan cultivos tempranos (Aldabe, 2000). La zona Sur concentra la mayor parte de la producción. En la zafra 2014/2015, se sembraron 1187 ha con un rendimiento promedio de 20,8 Mg/ha (MGAP. DIEA, 2019). Esta zona abastece al mercado local desde noviembre hasta inicios de setiembre (CAMM, 2015). En la zona Norte la superficie sembrada es de 405 ha y tiene un rendimiento promedio de 17 Mg/ha (MGAP. DIEA, 2019). La zona Norte cubre la oferta en octubre y noviembre, cuando el abastecimiento de los lotes conservados en la zona Sur cae.

2.1.2. Anatomía y fisiología del cultivo de cebolla

La cebolla pertenece al género *Allium* de la familia *Alliaceae*. El género *Allium* es originario de las zonas montañosas de Asia Central y reúne más de 600 especies. Las especies más destacadas por su valor económico son *Allium cepa* (cebolla) y *Allium sativum* (ajo, Galmarini, 1997).

Es un cultivo de ciclo de vida bienal. La primera etapa de crecimiento es la fase vegetativa donde se forma el bulbo y en la segunda etapa (fase reproductiva) se forman las inflorescencias y se produce la semilla (Dogliotti et al., 2016). El tallo es un disco basal, en la parte superior y central se encuentra

el meristemo apical (Dogliotti et al., 2016). Las hojas se desarrollan a partir del meristema apical, presentan filotaxia alterna y están formadas por la vaina y la lámina. La vaina de la hoja envuelve el punto de crecimiento, forma un tubo (falso tallo) y desde su parte central aparecen las hojas más jóvenes. La lámina es un tubo hueco cerrado en la punta, levemente achatado en su interior (Dogliotti et al., 2016). El sistema radical es fasciculado, está formado por raíces que salen del tallo y se ramifican muy escasamente. Cerca del 90% del sistema radical en la cebolla se concentra en los primeros 20 cm del suelo (de Mason, 1990).

El bulbo es un órgano de reserva que está formado por las vainas engrosadas de las hojas más jóvenes. El inicio de la bulbificación (formación del bulbo) es desencadenado por el fotoperiodo e implica la acumulación de reservas en las vainas. La cebolla responde al fotoperiodo de día largo de forma cualitativa (Galmarini, 1997). Una vez iniciada la bulbificación las láminas dejan de crecer y todos los fotoasimilados son traslocados a las vainas para la formación del bulbo. En la maduración del bulbo, las vainas de las hojas más viejas y externas se deshidratan y forman una cubierta protectora con acumulación de pigmentos y defensas (Dogliotti et al., 2016). A mayor fotoperiodo, el crecimiento de las hojas cesa antes y el bulbo alcanza su madurez fisiológica más temprano (Thompson y Smith, citados por Galmarini, 1997).

Los materiales genéticos de cebolla difieren en el fotoperiodo necesario (fotoperiodo crítico) para iniciar la bulbificación (Brewster, 1994). De acuerdo al fotoperiodo crítico, los diferentes materiales de cebolla se clasifican en tres categorías principales: las variedades de día corto (DC) que responden a un fotoperiodo crítico de 11-12 horas, las de día intermedio (DI) que necesitan entre 13-14 horas de luz y las de día largo (DL) con un requerimiento mayor a 14 horas (Brewster, 2008).

Si bien el fotoperiodo es el factor determinante del inicio de la bulbificación, existen otros factores que afectan a este proceso y tienen efecto sobre el requerimiento de fotoperiodo crítico. La cebolla es un cultivo poco competitivo, debido a la arquitectura de la canopia. Por lo tanto, una estrategia de sobrevivencia es adelantar el inicio de bulbificación. El adelanto en el inicio de la bulbificación responde al estrés generado por algunos factores ambientales. Los factores más importantes son: temperatura, disponibilidad de nitrógeno y la calidad de la luz evaluada como la relación rojo/rojo lejano. A mayor temperatura, el fotoperiodo mínimo necesario para inducir el desarrollo del bulbo es generalmente más corto (Brewster, 1990). A medida que aumenta la temperatura, aumenta la tasa de desarrollo del bulbo en un fotoperiodo inductivo. Otro factor que afecta el requerimiento de fotoperiodo crítico es la

disponibilidad de nitrógeno (Dogliotti et al., 2016). La fuerza de fosa de las láminas en crecimiento disminuye cuando hay déficit de nitrógeno, entonces se adelanta la bulbificación. Cuando la relación rojo/rojo lejano es baja, se adelanta la bulbificación. La presencia de malezas en el cultivo puede disminuir la relación rojo/rojo lejano (Dogliotti et al., 2016).

La bulbificación es el proceso que abarca desde el inicio de la bulbificación hasta la cosecha. Los factores ambientales con mayor incidencia son la radiación interceptada y la temperatura (Arias y Peluffo, 2001). La radiación interceptada es directamente dependiente del IAF a inicio de bulbificación. El IAF determina la parte de la radiación que es interceptada en la etapa de bulbificación, que sumado a la radiación incidente y la duración de dicha etapa establecen la radiación interceptada acumulada en el periodo (Dogliotti et al., 2021). El área foliar al inicio de la bulbificación es determinante en el rendimiento, porque desde el inicio de esta etapa las hojas detienen su crecimiento y determina los fotoasimilados por día.

Galmarini (1997) destaca que el aumento de la duración del área foliar (DAF) es importante para lograr mayores rendimientos. La DAF puede verse afectada por factores como la disponibilidad de nutrientes, agua y la presencia de enfermedades y plagas.

En cebolla, el índice de cosecha está basado principalmente en el porcentaje de plantas con hojas volcadas. Galván (2017) destaca que para una buena conservación poscosecha y para minimizar los descartes el porcentaje de vuelco debería ubicarse entre 5 a 20 %. Sin embargo, hasta un 50 % de vuelco se asocia a bajos porcentajes de descarte y alarga la duración de la bulbificación.

Luego de la cosecha, los bulbos de cebolla entran en un periodo de dormancia. La dormancia es un periodo donde hay una actividad respiratoria mínima y se detiene la división celular en el meristema apical de la cebolla (Maeso y Carballo, 2005b). Este periodo de dormancia permite almacenar la cebolla durante meses. Una vez que se levanta la dormancia comienza el segundo año de desarrollo del cultivo y se da inicio a la etapa reproductiva.

En la fase reproductiva, el meristemo apical y algunos meristemas axilares se diferencian en yemas florales. A partir de un bulbo pueden desarrollarse varias inflorescencias (de Mason, 1990). La umbela puede presentar entre 200 a 600 flores, dependiendo del cultivar, las condiciones de crecimiento y si la umbela proviene de un punto de crecimiento principal o un brote axilar (Brewster, 1994). Se caracteriza por ser una especie con reproducción sexual alógama, de polinización entomófila y para la producción

de semilla comercial es común la utilización de abejas como polinizadores (Colnago, 2010).

Galmarini (1997) señala que diversos factores internos, sobre todo hormonales y externos como la luz y la temperatura condicionan la inducción floral. Posterior a la cosecha, la inducción del bulbo es requerida para promover la floración y producción de semillas. La floración en los cultivares de cebolla de día corto, medio o largo, se manifiesta con requerimientos crecientes de horas de frío (Vilaró et al., 2005). Temperaturas bajas (2-10 °C) durante el ciclo de cultivo y fechas de siembras anticipadas pueden promover la floración durante el primer año del cultivo (vernalización), afectando la calidad comercial.

2.1.3. Componentes del rendimiento

En la figura 1 se presenta un esquema que desglosa los componentes del rendimiento en el cultivo de cebolla. El rendimiento en el cultivo de cebolla está determinado por dos factores principales: la tasa de crecimiento de bulbos (Kg / día ha) y la duración del periodo de bulbificación (días, Dogliotti et al., 2016).

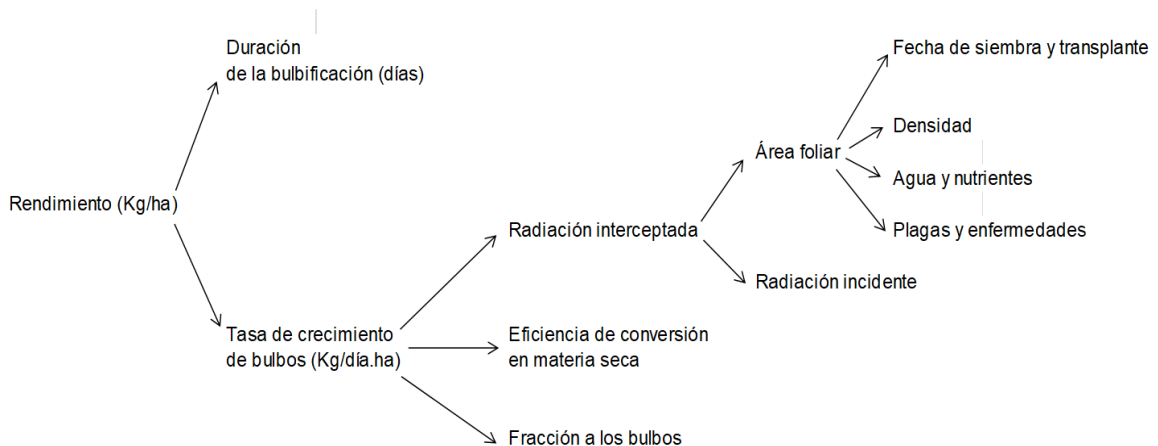


Figura 1. Diagrama de flujo que expresa la partición de los componentes del rendimiento en cebolla

Fuente: elaborado en base a Arias y Peluffo (2001).

Brewster (1990) señala que el intervalo comprendido entre el inicio de la bulbificación hasta la cosecha se denomina duración de bulbificación. Este autor ajustó una regresión múltiple en la que la duración de la bulbificación fue

explicada en un 73.7% por el porcentaje de radiación interceptada y la temperatura:

$$\text{duración de bulbificación (d)} = 104,8 - 0,245 \times R_{\text{int.}} - 2.714 \times \text{Temp. media}$$

La tasa de crecimiento de bulbo se encuentra determinada por la radiación interceptada, la eficiencia de conversión de azúcares en materia seca y fracción destinada a los bulbos. La radiación interceptada depende de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) y del índice de área foliar (IAF) al inicio de la bulbificación (Dogliotti et al., 2016). La radiación PAR al ser una variable climática es influida por el lugar del cultivo y época del año de inicio de bulbificación (dependiente de variedad). Dogliotti et al. (2016) aportan que el IAF detiene su crecimiento al inicio de bulbificación y desde el comienzo de la bulbificación hasta la maduración del bulbo, el IAF va disminuyendo. El valor de IAF al inicio de bulbificación depende de las condiciones de temperatura, disponibilidad de agua y nutrientes en la etapa de desarrollo y crecimiento de las láminas, entre otros factores. A su vez, la cebolla es altamente eficiente en la partición de fotoasimilados al órgano cosechado. Una vez iniciada la bulbificación la totalidad de los asimilados se destinan al bulbo. En relación a la eficiencia de conversión de materia seca, solo una fracción del total de la radiación interceptada pasa a formar parte de los distintos compuestos que constituyen la materia seca de la planta y en especial el bulbo (Arias y Peluffo, 2001).

El rendimiento del cultivo puede verse afectado por tres tipos de factores que permiten clasificar el rendimiento en tres niveles (figura 2).

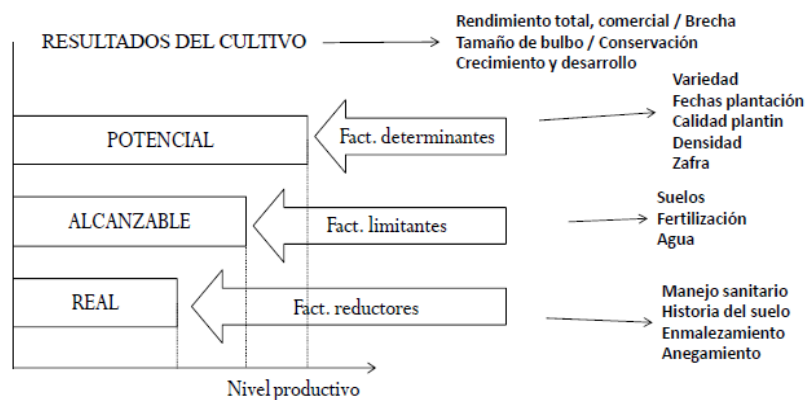


Figura 2. Factores que afectan el rendimiento en la cebolla

Fuente: tomado de Scarlato (2020).

El rendimiento potencial es el máximo que puede alcanzar un cultivo y es determinado por diversos factores. Cada cultivo e incluso cada variedad pueden diferir en los factores que afectan el rendimiento máximo potencial. Los factores determinantes del rendimiento potencial en la cebolla son la fecha de siembra, densidad, variedad, fecha de trasplante y cosecha.

La densidad de plantación es una variable que afecta directamente el IAF a inicio de bulbificación (Dogliotti et al., 2016). La relación entre densidad de plantación y rendimiento se divide en cuatro zonas. La primera zona de crecimiento donde el rendimiento aumenta acorde al aumento de la densidad (crecimiento sin competencia). En la segunda zona las plantas crecen en competencia y el rendimiento aumenta si aumenta la densidad pero con incrementos decrecientes. La tercera zona (de saturación) no hay aumento del rendimiento por aumento de la densidad. Por último, en la cuarta zona (de sobresaturación) hay un efecto negativo en el rendimiento por aumento de la densidad, por descenso de la proporción de translocación de materia seca.

Arias y Peluffo (2001) indican que para cada variedad existe una fecha de siembra adecuada. Si la siembra es anticipada a la fecha óptima, y dependiendo del año, puede haber cuellos gruesos y floración prematura. En siembras tempranas, aumenta el periodo del ciclo del cultivo y se alarga la etapa comprendida entre la siembra e inicio de bulbificación. Las plantas con mayor tamaño, son más receptivas a las bajas temperaturas lo que provoca la inducción floral más temprana en el primer año del cultivo. Un aumento de la floración implica una disminución de bulbos comerciales. Se ha observado que con atrasos en la fecha de siembra, existe una tendencia hacia la disminución del rendimiento, la fecha de inicio de bulbificación (determinada por el fotoperiodo crítico) se retrasa mucho menos que la fecha de siembra, y como consecuencia hay una reducción del largo total del ciclo (Dogliotti et al., 2016). La disminución del largo del ciclo se da por un acortamiento de la etapa comprendida entre la siembra y el inicio de la bulbificación.

Arbolea (2005) menciona que diferentes fechas de almácigos determinaron distintos momentos de trasplante. Sin embargo, los diferentes periodos de trasplante a cosecha no afectaron prácticamente la fecha de cosecha. El rendimiento comercial y el peso medio de bulbo fueron disminuidos significativamente por el atraso en la fecha de siembra. En fechas de siembra tempranas se obtuvieron los mayores rendimientos.

El rendimiento alcanzable es el rendimiento que se consigue a pesar de las restricciones ambientales a nivel clima y suelo en la zona de producción, con el uso de la mejor tecnología disponible (Ferres y Villalobos, 2017). Los

factores limitantes que influyen en el rendimiento alcanzable son el estado de suelo, fertilización y disponibilidad de agua. Los suelos sueltos, sanos, profundos y ricos en materia orgánica, de consistencia media y no calcáreos son de preferencia para la cebolla (Docampo, 2005). Para la definición de la fertilización es necesario tener en cuenta varios factores: requerimientos del cultivo de cebolla, la evolución de materia seca producida por el cultivo (según edad de la planta) y la curva de absorción del cultivo (Arboleya, 2005). En relación a la disponibilidad de agua las plantas requieren unos 25 mm de agua semanalmente, sea lluvia o riego (Aldabe, 2000).

Por último el rendimiento real que se obtiene en el cultivo de cebolla se encuentra afectado por factores como el nivel de enmalezamiento y estado sanitario. Es un cultivo poco competitivo con las malezas por lo que deben ser instalados en suelos en donde las malezas no sean un problema (Aldabe, 2000). También densidades altas demandan mayor cantidad de nutrientes y agua, por lo tanto deben ser cultivadas en espacios libres de malezas para que no compitan por estos recursos (Arboleya, 2005). Para mantener un buen estado sanitario es conveniente el uso de variedades resistentes o tolerantes, plantines sanos, buen control de malezas, rotación de cultivos y densidades no muy altas en marcos de plantación adecuados (Arboleya, 2005).

2.1.4. Conservación poscosecha de la cebolla

Luego de la cosecha comienza el curado. El objetivo primordial del curado es disminuir la humedad de las catáfilas externas, del cuello y de las raíces (Carballo et al., 2005). Un proceso de curado adecuado le brinda al bulbo una protección física a daños de manipuleo, protección de pérdidas de agua durante el almacenamiento y evita la entrada de microorganismos. El curado se puede realizar de forma natural o artificial. El curado natural realizado a campo demora entre 10 y 30 días, y es muy importante tener la precaución de proteger los bulbos del quemado del sol. El secado artificial o secado forzado demora entre 2 a 4 días a temperatura óptima de 36 a 38 °C, humedad relativa entre 50-60% y una circulación de aire de 7-20 m³ aire/min/m³ cebolla (Carballo et al., 2005).

De acuerdo con Galván et al. (2015), en la región Sur de Uruguay, en general, el curado se realiza principalmente a campo. Este método de curado consiste en arrancar las plantas de cebolla y poner los bulbos en hileras o gavillas. Los bulbos quedan tapados por las hojas de las plantas de la gavilla para protegerlos del quemado del sol. Este método de secado es de bajo costo y logra condiciones ideales de temperatura de 27-32 °C (durante gran parte del día), baja humedad relativa y buena remoción de aire.

Según Zaccari y Carballo (2005), la buena conservación de los bulbos depende de la calidad del material genético original, del manejo en el cultivo, de la manipulación de los bulbos en cosecha y poscosecha, del secado y de las condiciones de almacenamiento. La conservación de los bulbos está influenciada principalmente por dos factores ambientales: temperatura y humedad relativa. Las condiciones óptimas de almacenamiento son de temperatura de 0 °C y humedad relativa entre 65 y 70%. La temperatura actúa sobre los procesos fisiológicos, a una mayor temperatura se acelera el deterioro del bulbo y pierde calidad comercial. El principal problema de conservación asociado a la temperatura es la brotación de las hojas de los bulbos. En cambio, la humedad relativa tiene efecto sobre la brotación de raíces. Además, la humedad relativa alta promueve el desarrollo de patógenos (hongos y bacterias).

En Uruguay las pérdidas durante el almacenamiento se dividen en dos periodos. El primero está dado por las pérdidas principalmente por pudriciones bacterianas, que ocurren principalmente desde febrero a mayo. Las cosechas muy tardías, daños por manipuleo y ocurrencia de lluvia o etapas alta humedad durante la cosecha y curado, provocan un aumento de pérdidas en el primer periodo de almacenamiento (Zaccari y Carballo, 2005). El segundo periodo ocurre entre los meses de junio-agosto y la principal causa está en la brotación, aparición de raíces y hojas. En menor medida durante esta etapa de almacenamiento ocurren pérdidas por deshidratación, pudriciones y carbonilla.

2.1.5. Mejoramiento genético de cebolla en Uruguay

Los programas de mejoramiento genético de cebolla en Uruguay comenzaron en 1980 con el proyecto de mejoramiento genético de hortalizas del INIA. En el año 1991 se inicia el programa de mejoramiento genético de hortalizas de la Facultad de Agronomía. La adaptación productiva o ecofisiológica expresada en rendimiento y conservación poscosecha, la calidad de los bulbos y la resistencia a enfermedades han sido los principales objetivos de mejoramiento (Vicente et al., 2010). En la zona Sur, el objetivo principal fue la mejora en la calidad del germoplasma local de ciclo intermedio. Luego, desde 2006 hay un hincapié hacia el mejoramiento por resistencia al mildiú causado por *Peronospora destructor* y a la fusariosis causada por *Fusarium oxysporum* (Vicente et al., 2010).

Boschi (2014) destaca que uno de los principales objetivos en el programa de mejoramiento de cebolla en Uruguay es aumentar el periodo de abastecimiento de este producto durante todo el año. Para lograr este objetivo se hicieron combinaciones de distintos ciclos productivos en diferentes zonas

agroclimáticas y además la ampliación de la oferta comercial mediante la diversificación de las características de bulbos según sabor o color externo.

En Uruguay se destacan variedades locales de cebolla que presentan variabilidad genética inter e intrapoblacional con adaptación a las condiciones ambientales de las zonas de producción (González et al., 1999). También se emplea el uso de cultivares de origen nacional e importados (Porta, 2010). Las variedades criollas fueron originadas a partir de semillas introducidas por los inmigrantes del Sur de Europa desde fines del siglo XIX y mantenidas artesanalmente hasta la actualidad (Vicente et al., 2010). A partir de trabajos de colecta, caracterización y evaluación de variedades locales en el Norte y Sur del país se observó que ninguna de las poblaciones locales llegó a reunir en forma equilibrada las características que determinan la adaptación, el rendimiento y la calidad comercial (González et al., 2000). En cambio, la variabilidad genética y la presencia de características de interés, son importantes en los programas de mejoramiento que buscan combinar la adaptación productiva con el rendimiento y calidad (Galván et al., 2005). A partir de variedades criollas se han desarrollado cultivares nacionales que recogen las buenas características agronómicas de éstas y se mejora la uniformidad y calidad comercial.

En Uruguay se realiza un mayor uso de cultivares nacionales (Vicente et al., 2010). En cuanto al material importado, un alto porcentaje es de origen argentino (57% del material importado), dado por la cercanía geográfica y la búsqueda de cultivares de día largo (Hirczak, 2012).

Los programas de mejoramiento genético nacionales han desarrollado cultivares con buena adaptación productiva y ecofisiológica que han sido ampliamente adoptados por los productores. En la zona Sur, la variedad Pantanoso del Sauce CRS representa alrededor de un 60% del área, y en la zona Norte, predomina el cultivar INIA Casera con más de la mitad del área cultivada (Vicente et al., 2010).

A nivel local, se han desarrollado variedades de polinización abierta, debido a que el desarrollo de híbridos no mostraba una ventaja importante (Vilaró et al., 2005). La utilización de métodos de mejoramiento de selección masal estándar y estratificada permitió la obtención de cultivares como INIA Casera, INIA Fagro Dulce, Naque e INIA Albana (Vicente et al., 2010). Otro método de mejoramiento utilizado es la autofecundación y posterior selección dentro y entre líneas endocriadas, destacándose la obtención de cultivares como INIA Valenciana, Pantanoso del Sauce CRS y Canarita CRS.

En 1992 INIA Salto Grande, liberó INIA Casera, el primer cultivar nacional con una difusión importante a nivel local, destacándose en la región

Norte del Uruguay (más del 50% del área cultivada) hasta la actualidad (Vilaró et al., 2005). Después se liberó el cultivar INIA Valenciana en 1996, desarrollado en 1980 como variedad sintética en INIA Las Brujas y mantenida como VPA (Vicente et al., 2010). En el año 2000, la Facultad de Agronomía libera el cultivar Pantanoso del Sauce CRS, que actualmente representa más del 60 % del área cultivada en la zona Sur del país. Es el primer cultivar de cebolla en alcanzar el título de propiedad y comercializarse como semilla certificada (INASE, citado por Boschi, 2014). Posteriormente, en 2006, se realizó la liberación desde Facultad de Agronomía del cultivar de Canarita, desarrollada junto con Pantanoso del Sauce CRS. En 2009 INIA Las Brujas liberó otras variedades como INIA Naque, INIA Albana e INIA Fagro Dulce (desarrollada en conjunto con FAgro).

La generación de cultivares nacionales y su amplia adopción generó condiciones para la implementación de programas de certificación de semillas. En este escenario, se estableció un convenio entre la UdelaR (Universidad de la República) y la cooperativa CALSESUR (Cooperativa Agraria Limitada de Semilleristas del Sur), para la producción de semilla certificada de cebolla, experiencia novedosa para la horticultura en Uruguay (Galván et al., 2015). La cooperativa está formada por 15 productores de diferentes zonas del departamento de Canelones. La mayoría son productores familiares hortícolas. La producción de semillas de cebolla de CALSESUR se enfoca en los cultivares Pantanoso del Sauce CRS, Canarita, Santina y Naqué (Zipitría, 2015).

2.2. INTERACCIÓN GENOTIPO POR AMBIENTE

2.2.1. Introducción

La presencia de interacción genotipo por ambiente (IGA) es una de las manifestaciones de mayor interés en los programas de mejoramiento animal y/o vegetal. La respuesta diferencial de los genotipos a diferentes ambientes se denomina IGA y afecta todos los procesos biológicos (Abadie y Ceretta, 2001). Malosetti et al. (2013) definen al fenotipo como una característica que es relevada al final de la temporada de crecimiento del cultivo, siendo el producto de un conjunto de interacciones que se acumulan y están determinadas por el genotipo y el ambiente.

Van Eeuwijk et al. (2016) indican que el fenotipo es consecuencia de la interacción entre los componentes genéticos y ambientales. Por lo tanto, para la elección de estos componentes se debe analizar el uno con el otro y no de forma independiente. Pueden existir genotipos que se adaptan a diferentes condiciones ambientales y presentan una adaptación amplia. Por otro lado Malosetti et al. (2013) aportan que existen genotipos que se adaptan a

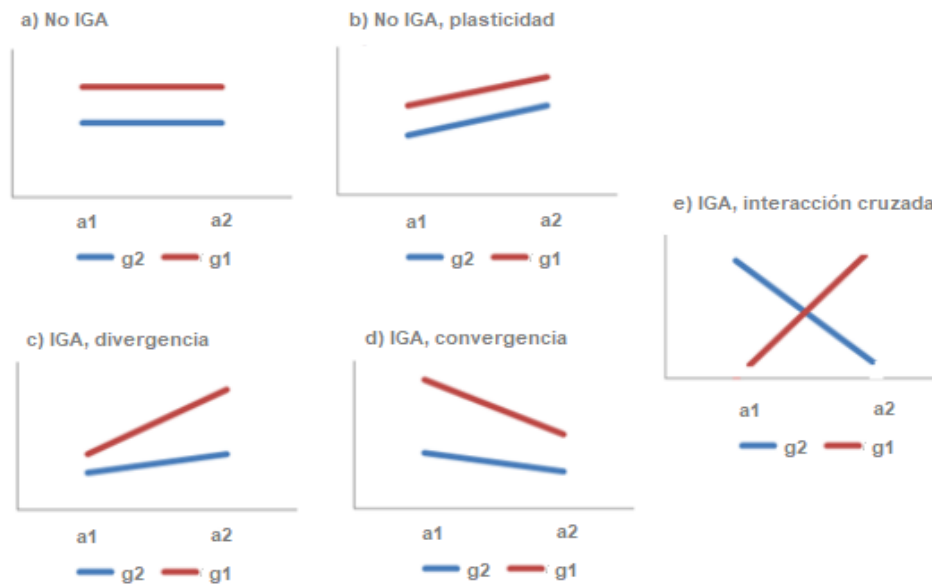
determinadas condiciones ambientales y que generalmente se desempeñan mejor en ambientes con condiciones limitantes, denominados genotipos con adaptación específica. En particular, estos genotipos presentan una fuerte vinculación con la presencia y magnitud de la IGA (Malosetti et al., 2013). Es por esto que el estudio detallado de redes de ensayos multiambiente, permite visibilizar la estructura y magnitud de sus componentes, así como la determinación del impacto de los efectos principales genéticos y ambientales y lo de la IGA en la expresión fenotípica de los caracteres de mayor relevancia.

2.2.2. Norma de reacción, adaptación y adaptabilidad

La norma de reacción puede definirse como el comportamiento de un único fenotipo a diferentes condiciones ambientales. También puede definirse como *"la relación funcional específica del genotipo entre el fenotipo y gradiente ambiental"* (Van Eeuwijk et al., 2016). Por otro lado, los conceptos de adaptabilidad y adaptación están estrechamente relacionados con el de norma de reacción. La adaptabilidad de un genotipo está dada cuando la norma de reacción está por encima a la de un genotipo aceptable o es cercana a la de un genotipo ideal (Van Oijen y Höglind, 2015). Sin embargo, la adaptación es un proceso donde el individuo se adecua al ambiente. Dicho proceso se extiende por varias generaciones y depende de su componente genético. Van Eeuwijk et al. (2016) aclaran que no siempre se distingue correctamente adaptabilidad de adaptación, siendo la primera definida como un estado y la segunda como un proceso. Por lo tanto, también indica que el término adecuado para referirse al estudio de la norma de reacción es adaptabilidad por estar haciendo referencia a un estado.

2.2.3. Tipos de IGA

La IGA presenta diferentes maneras de expresarse y depende tanto de la performance de los genotipos como de las condiciones ambientales. La IGA sucede cuando no existe paralelismo entre las normas de reacción y puede tener un comportamiento divergente, convergente o en donde existe un cruce o cambio de ranking (Van Eeuwijk et al., 2016). En la figura 3 se presentan de manera esquemática los principales tipos de IGA.



a) no IGA. b) ausencia de IGA con plasticidad, c) IGA en divergencia, d) IGA en convergencia, e) IGA cruzada o cambio de ranking.

Figura 3. Tipos de interacción genotipo por ambiente de dos genotipos (g1 y g2) en dos ambientes (a1 y a2)

Fuente: adaptado de Van Eeuwijk et al. (2016).

En los casos a y b se evidencia que no existe IGA, pese a que hay diferencias entre los genotipos. En el caso b se evidencia la presencia de cierta plasticidad del genotipo respecto a ambos ambientes. En los casos c y d se visualiza la presencia de IGA, en donde, no se constata paralelismo. En el c se aprecia que la performance es divergente, donde el genotipo 1 (g1) es mayor al genotipo 2 (g2), pero la mayor diferencia de magnitud de performance se da en el ambiente 2 (a2). Sin embargo, en el caso d, se lo denomina convergente, es un comportamiento similar al caso c, pero en este caso, la mayor diferencia de magnitud se visualiza en el ambiente 1 (a1).

El último caso (e) es un tipo de interacción cruzada o crossover, donde g1 tiene mejor comportamiento en a2, a diferencia de g2 donde presenta una mejor performance en a1. Según Malosetti et al. (2013), las interacciones cruzadas son las de mayor relevancia para mejoradores genéticos vegetales, debido a la fuerte influencia del ambiente sobre la selección del mejor genotipo o el genotipo mejor adaptado a condiciones específicas.

2.2.4. Estabilidad

En lo que refiere a la estabilidad de cultivares, Allard y Bradshaw (1964) señalaron que ciertos aspectos de la morfología y fisiología pueden presentar estabilidad, mientras otros son variables. Por lo general, aquellos genotipos con una mayor estabilidad presentan una reducida IGA para caracteres de importancia agronómica, principalmente rendimiento, siendo menos presente en otros caracteres.

Según Becker, citado por Cubero y Flores (2003) existen dos tipos de estabilidad: biológica y agronómica. En la primera, el genotipo mantiene un rendimiento constante en distintos ambientes (sentido homeostático). Este tipo de estabilidad no es esperable en agricultura moderna porque los genotipos deberían responder a condiciones del medio mejoradas. La estabilidad agronómica, aparece cuando el genotipo es estable, respondiendo relativamente bien a los ambientes donde se instala, según el potencial de éste mostrando una baja interacción en términos de ecovalencia. Dicha ecovalencia, es definida como el aporte que realiza un genotipo a la suma de cuadrados total de la IGA en el contexto de un análisis de varianza.

Van Eeuwijk et al. (2016) distinguen los conceptos de estabilidad estática y dinámica. En referencia a la primera, el modelo de la norma de reacción del genotipo no es sensible y no corrige el rendimiento general o el nivel de producción según las condiciones del ambiente. En el caso de estabilidad dinámica la define en términos de variabilidad de comportamientos de norma de reacción más específica por genotipo. En las variaciones de la norma de reacción en estabilidad dinámica se debe considerar la influencia de los factores ambientales.

2.2.5. Análisis de varianza

Cubero y Flores (2003), señalan que para comenzar el análisis del comportamiento de un genotipo en diferentes ambientes, debe identificarse estadísticamente una interacción genotipo por ambiente significativa. Por lo tanto, el análisis de varianza es una herramienta útil para este objetivo.

Van Eeuwijk et al. (2016) indican que los modelos lineales y bilineales presentan limitaciones para el estudio de IGA, en comparación a los modelos mixtos que modelan la heterogeneidad de las variaciones genéticas y las correlaciones entre ambientes. Estos autores también aportan que estos modelos permiten determinar rasgos fenotípicos a lo largo de los ambientes y estimar parámetros genéticos cuantitativos como varianza, correlación genética,

heredabilidad y respuestas a la selección. En los modelos mixtos, a diferencia de otros modelos lineales más simples, existen tanto efectos fijos como aleatorios. En el caso de modelo lineal con efectos fijos para un ensayo con bloques completos al azar, puede evaluarse como un modelo mixto si se tratan a los bloques como aleatorios. Esto tiene como consecuencia cambios sobre los supuestos del modelo, ya que los efectos de bloque al definirse como aleatorios provienen de una distribución normal con una media y varianza específica. Los efectos de bloque provienen de una distribución normal al igual que un modelo simple.

A continuación se presenta un modelo clásico de evaluación de una red multiambiente en donde se evalúa la variable de respuesta mediante un análisis de varianza. Aquí g se vincula a los genotipos, e a los ambientes, y r a la cantidad de observaciones de un genotipo en un determinado ambiente (Cubero y Flores, 2003):

$$Y_{ijk} = \mu + g_i + e_j + (ge)_{ij} + r_{(j)k} + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} = el valor fenotípico del genotipo i -ésimo en la k -ésima repetición del j -ésimo ambiente.

μ = media general

g_i = efecto aditivo del genotipo i -ésimo ($i=1, \dots, g$).

e_j = efecto aditivo del ambiente j -ésimo ($j=1, \dots, e$).

$(ge)_{ij}$ = IGA del genotipo i -ésimo y del ambiente j -ésimo.

$r_{(j)k}$ = efecto de la k -ésima repetición en el ambiente j -ésimo ($k=1, \dots, r$).

ε_{ijk} = variación residual de la observación k -ésima del genotipo i -ésimo y del ambiente j -ésimo.

2.2.6. Modelos multiplicativos

La caracterización ambiental en una sola dimensión puede presentar ciertas limitaciones que pueden ser solucionadas con la aplicación de un modelo más eficiente en donde actúa más de una variable de calidad ambiental (Malosetti et al., 2013). En ese sentido, el estudio de la IGA puede ser abordado a través del uso de modelos multiplicativos, en donde se destacan por su amplio uso los modelos AMMI (efectos principales aditivos y de la IGA como multiplicativos) o modelos GGE (evalúa efecto principal genotípico e IGA, González Barrios et al., 2017). Los modelos GGE son generalmente

representados mediante el uso de biplots, contruidos con los dos componentes principales de un análisis de valor de descomposición singular con datos provenientes de la red multiambiente, centrados por ambiente. El GGE biplot representa gráficamente y de manera simultánea los efectos genotípicos y de IGA, siendo de gran utilidad para la identificación de genotipos superiores adaptados y la delimitación de mega-ambientes (Yan et al., 2007).

Para lograr un mejor entendimiento de este tipo de análisis, el uso de herramientas gráficas como los biplots son importantes para interpretar la información presente en una matriz de datos, ya que reducen su dimensionalidad, procurando la menor pérdida de información posible (Frutos, 2011). Los biplots se representan como gráficos geométricos, con ejes que representan a los ambientes que se cruzan en sus orígenes. Estos orígenes muestran los promedios para la variable de interés correspondiente. A medida que se aleja de dicho origen el valor de la variable de interés aumenta. Los genotipos que se encuentran uno más cerca del otro son similares en relación a su performance promedio, lo mismo ocurre con los ambientes. La relación de los ángulos entre ejes ambientales adquiere también significado y se interpreta de la siguiente manera: un ángulo agudo entre dos vectores significa una correlación positiva y fuerte, ángulo recto indica nula correlación y si el ángulo es obtuso se asume una fuerte correlación negativa entre ambientes (Malosetti et al., 2013).

El modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) se representa de la siguiente manera (Malosetti et al., 2013):

$$\mu_{ij} = \mu + G_i + E_j + \sum_{k=1}^K b_{ik}Z_{jk} + \varepsilon_{ij}$$

μ_{ij} = rendimiento del i-ésimo genotipo en el j-ésimo ambiente.

μ = media general.

G_i = efecto relativo del i-ésimo genotipo.

E_j = efecto relativo del i-ésimo ambiente.

ε_{ij} = error experimental.

Los parámetros multiplicativos son:

b_{ik} = score genotípica

Z_{jk} = score ambiental

La IGA se explica en términos multiplicativos ($k = 1, \dots, k$), está explicado por el producto de la sensibilidad genotípica b_{ik} (score genotípico) y la caracterización ambiental z_{jk} (score ambiental). La aplicación del modelo AMMI comienza con un análisis de varianza y posterior división de la IGA en componentes multiplicativos genéticos y ambientales (Cubero y Flores, 2003). El análisis de varianza analiza los efectos aditivos principales de efectos genotípicos y ambientales, y tiene la ventaja que estudia el efecto no aditivo de la interacción por medio del análisis de componentes principales (Cubero y Flores, 2003). El análisis de componentes principales es un método que busca simplificar y estructurar la información de una matriz de datos. El objetivo principal es igualar dicha matriz a un espacio vectorial en una mínima cantidad de dimensiones que intente explicar la variabilidad total de la mejor manera posible.

En cambio, para el otro modelo multiplicativo que es el GGE biplot, Van Eeuwijk et al. (2016) señalan que en sus biplots, se evalúan tanto el efecto principal genotípico como el de IGA, a diferencia de los modelos AMMI donde únicamente cubre el efecto IGA. En ese sentido, algunos autores indican que el modelo GGE biplot, es un método más avanzado ya que permite responder preguntas sobre patrones de genotipos, genotipos ganadores en determinados ambientes, identificación de mega ambientes, el rendimiento medio y la estabilidad de genotipos. Dicho modelo se representa de la siguiente manera (Malosetti et al., 2013):

$$\mu_{ij} = \mu + E_j + \sum_{i=1} b_{ik} z_{jk} + \varepsilon_{ij}$$

μ_{ij} = rendimiento del i -ésimo genotipo en el j -ésimo ambiente.

μ = media general.

E_j = efecto relativo del i -ésimo ambiente.

ε_{ij} = error experimental.

Los parámetros multiplicativos son:

b_{ik} = score genotípica

z_{jk} = score ambiental

El biplot GGE bidimensional, presenta atributos que permite sacar conclusiones sobre la adaptación genotípica, varianzas genéticas, y correlaciones genéticas (Van Eeuwijk et al., 2016). El efecto principal ambiental es un problema importante para los mejoradores en la evaluación de cultivos.

Por lo tanto, la aplicación de este modelo permite aplacar dicho efecto y centrarse en los efectos genotípicos y de IGA.

2.2.7. Estudios de IGA en el cultivo de cebolla

En la actualidad la literatura sobre el análisis de IGA en este cultivo es muy acotada. Algunos de los estudios que se encuentran disponibles sobre la IGA y estabilidad de rendimiento en cebolla fueron realizados en Cuba. Lescay (2003), en el análisis de rendimiento de cuatro variedades de cebolla, encontró un efecto significativo en la interacción variedad x localidad x año para la variable rendimiento comercial, mostrando una respuesta diferencial a los diferentes ambientes evaluados

En Brasil la mayor producción de cebolla se concentra en la región centro Sur. Por lo tanto, en la búsqueda de identificar nuevas áreas potenciales de producción Torquato Tabares et al. (2017) realizaron un estudio con el objetivo de determinar la adaptación y potencial de rendimiento de la cebolla en esa región. Trabajaron evaluando tres híbridos de ciclo precoz en tres fechas de trasplantes. Una de las conclusiones obtenidas fue que los rendimientos observados fueron similares a los de las regiones donde se produce cebolla en ese país, recomendando la siembra en esta zona. Por otro lado, la fecha más recomendada para trasplantes fue en junio (fecha intermedia), donde se obtuvo el mayor rendimiento. En las demás fechas de siembra presentaron rendimientos adecuados a las exigencias del mercado.

Brdar Jokanovich et al. (2016) realizaron un estudio de IGA en cebolla aplicado a sistemas de producción orgánicos y convencionales en Serbia, utilizando como herramienta de análisis los modelos AMMI. En este trabajo se evaluaron cinco cultivares sembrados en dos años (2009 y 2010), en experimentos con manejo convencional y orgánico. El objetivo fue evaluar la estabilidad de componentes del rendimiento y otras características que contribuyen al rendimiento (diámetro, altura de planta, periodo de emergencia y vegetación, entre otros). El análisis de varianza del modelo AMMI indicó que hubo efecto significativo para las fuentes de variación genotipo, ambiente e IGA. En particular, el componente de varianza que obtuvo una mayor proporción de la variabilidad fenotípica total fue el ambiente para la mayoría de los caracteres evaluados. Para emergencia (grados días de crecimiento acumulado desde siembra hasta emergencia) y para el índice de bulbificación hubo un mayor efecto genotípico y para la longitud de cuello el efecto asociado a la IGA fue el de mayor magnitud.

2.3. COVARIABLES AMBIENTALES

El uso de covariables ambientales es una herramienta que permite estudiar los principales factores ambientales que expliquen las diferencias genotípicas en diferentes ambientes. En agronomía principalmente, el interés se centra en variables como rendimiento donde el estudio de la IGA es explicado en relación a la variación de las covariables ambientales.

Según Di Rienzo et al. (2005), la simple observación de que dos variables pueden estar relacionadas no genera conclusiones importantes. Por lo tanto es importante estudiar qué tan estrechamente están relacionadas o el grado de asociación entre ambas. Para ello se necesita una medida de grado de asociación entre variables denominada coeficiente de correlación. El coeficiente de correlación puede ser utilizado para el cálculo de las covariables ambientales. Di Rienzo et al. (2005) indican la independencia de las unidades de medidas de las variables y presenta un intervalo entre -1 y 1. Si no hay correlación entre las variables el valor es 0. Sin embargo cuando existe un alto grado de correlación lineal tiende a valor -1 o 1. La falta de correlación lineal indica que no existe una asociación lineal entre las variables, pero no significa que puedan presentar otro tipo de correlación. En casos donde las variables no estén asociadas linealmente, el coeficiente de correlación lineal no sería el método más adecuado.

Entre otros métodos se encuentra la regresión de mínimos cuadrados parciales o PLS (Partial Least Squares). Según Vargas (1998), este método de estadística multivariada relaciona dos matrices X e Y, donde combina el análisis de componentes principales y análisis de regresión lineal. El objetivo principal es predecir un conjunto de variables dependientes (matriz Y) a partir de una serie de variables predictoras (matriz X).

En Uruguay el análisis PLS es más utilizado en agricultura extensiva. Por ejemplo, González Barrios et al. (2013) estudiaron las limitaciones para la expresión del potencial de rendimiento en girasol utilizando PLS regresión. El uso de este método analiza el comportamiento de las variables de respuesta (rendimiento por ambiente) y las variables regresoras (características climáticas y atributos agronómicos). En particular en este trabajo, se concluye que el uso de este método fue de gran utilidad para mejorar el entendimiento de cuáles son las variables meteorológicas, agrupadas por fase del cultivo, que mayor inciden en la limitación del potencial de producción del cultivo.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS

En el presente trabajo se estudió una serie de diez años de ensayos de evaluación de cultivares de cebolla en Uruguay. El análisis comprende el periodo 2006 a 2013, y los años 2017 y 2018. Los ensayos fueron realizados anualmente por el Departamento de Producción Vegetal en el Centro Regional Sur (CRS) de la Facultad de Agronomía, ubicado en Camino Folle km 35.500 s/n en la localidad de Progreso, departamento de Canelones.

El material vegetal utilizado comprendió cultivares nacionales, cultivares introducidos, variedades criollas y líneas avanzadas de programas de mejoramiento nacionales. A fin de simplificar el texto, a continuación se hace referencia a los “genotipos” evaluados, independientemente de su estructura y variabilidad genética.

Para cada año, en general, se utilizaron tres fechas de siembra y de trasplante (figura 4). La primera y segunda fecha de siembra comprende materiales vegetales precoces (día corto, DC) y semiprecoces (día intermedio, DI). En cambio, la tercera fecha comprende los semiprecoces y tardíos (DI y día largo, DL).

Los almácigos fueron instalados en canteros solarizados. La solarización se instaló en diciembre del año previo a la instalación de los ensayos. Previo a la siembra se retiró el nylon y los canteros se rastrillaron. Se sembraron 2 metros de cantero por variedad. La densidad de siembra fue de 4 g/m² de semilla. La siembra se realizó en líneas en dirección transversal al cantero. En el mantenimiento de los almácigos se realizaron aplicaciones de fitosanitarios para el control de *Botrytis squamosa*.

El trasplante se realizó en canteros con una fertilización a base de abono de pollo (15 Mg/ha). El ancho del cantero fue de 1,4 m. El marco de plantación fue de cuatro filas de plantas y con una distancia entre plantas de 10 cm. Se seleccionaron los 400 mejores plantines del almácigo de cada variedad (3 a 4 hojas, 25 cm de altura y diámetro de un lápiz). El trasplante para cada fecha se realizó en una jornada. La densidad promedio fue de 285000 plantas/ha. Después de la instalación del cultivo se realizó una refertilización con urea (150 kg/ha). Además, se colocaron 2 cintas de riego por cantero. Se aplicaron herbicidas post-trasplante.

Fecha 1	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2017	2018
Siembra	S/D	29 mar.	28 mar.	26 mar.	7 abr.	6 abr.	2 abr.	1 abr.	19 abr.	17 abr.
Trasplante	21 jun.	26 jun.	18 jun.	8 jul.	2 jul.	28 jun.	12 jun.	14 jun.	27 jun.	5 jul.
Cosecha	9-15 nov.	12-19 nov. 10 dic.	24-25 nov.	24 nov.	10 dic.	5-29 nov. 10 dic.	8-28 nov. 10 dic.	9-11 nov.	2-28 nov. 07-12 dic.	8-12 nov. 5-19 dic.
Ciclo (días)	S/D	238-256	241-250	243-253	247	213-240	220-252	224-242	197-237	205-246

Fecha 2	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2017	2018
Siembra	S/D	10 abr.	16 abr.	15 abr.	28 abr.	21 abr.	16 abr.	17 abr.	10 abr.	S/D
Trasplante	S/D	20 jul.	16 jul.	30 jul.	28 jul.	4 ago.	16 jul.	19 jul.	27 jul.	S/D
Cosecha	10-30 nov. 7-30 dic.	12-28 nov. 12-20 dic.	04-22 dic.	27 nov. 3-28 dic.	22-27 dic.	29 nov. 19 dic.	29 nov. 19 dic.	22-29 nov. 06-16 dic.	13-22 dic.	S/D
Ciclo (días)	S/D	216-254	232-250	226-257	238-243	222-242	227-238	219-226	247-256	S/D

Fecha 3	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2017	2018
Siembra	S/D	4 may.	4 may.	8 may.	10 may.	17 may.	11 may.	23 may.	S/D	S/D
Trasplante	S/D	10 set.	5 set.	11 set.	9 set.	5 set.	24 set.	12-22 set.	S/D	S/D
Cosecha	S/D	28 dic. 11 ene.	23 dic. 12 ene.	8 ene.	05-26 ene.	30 dic. 05-12 ene.	17 ene.	9-17 ene.	S/D	S/D
Ciclo (días)	S/D	238-252	233-253	245	240-261	227-240	251	241-249	S/D	S/D

Figura 4. Caracterización de los ciclos de cultivos (fechas de siembra, trasplante, cosecha y duración de ciclo) para cada año de ensayo en las tres fechas de siembra

Durante la primavera, cuando las variedades han iniciado la bulbificación, se realizó un muestreo destructivo de cinco plantas por parcela. Las variables evaluadas fueron: área foliar, cerrado de cuello (cociente entre el diámetro menor y el diámetro mayor), largo de hojas, número de hojas, peso de bulbo, peso de cuello y peso de láminas.

El diseño experimental fue de bloques completos al azar con 4 repeticiones. Las parcelas de cada experimento fueron de 2,0 o 2,5 metros de largo (80 o 100 plantas por parcela) según el año. En el mantenimiento de los ensayos se utilizó riego por goteo, y aplicaciones de fungicidas preventivos y curativos principalmente para *Peronospora destructor*. Además, el control de malezas se realizó de manera manual y mediante herbicidas selectivos.



Pantanoso CRS Regia Canarita CRS Fer. x PS CRS Cruce Canario Naqué

Figura 5. Plantines al momento del trasplante en la segunda fecha de siembra del ensayo 2011

La cosecha se realizó cuando cada variedad alcanzó el índice de cosecha. En los primeros años de ensayos el índice de cosecha fue más de 50% de vuelco. Posteriormente, con los avances en investigación sobre el cultivo se optó por un porcentaje de vuelco entre un 20 y 25%. Si el cultivo presenta problemas sanitarios se puede aceptar un 10 % de vuelco como índice de cosecha. Las cebollas en cada parcela fueron cosechadas y curadas en gavillas. Se realizó un curado a campo de 7 a 15 días. Luego del curado, todas las cebollas de la parcela se guardaron en cajones identificados en galpón. En el mes de febrero se evalúa el rendimiento y se inicia el almacenamiento. Las cebollas se descolaron, y las variables medidas en la evaluación del rendimiento fueron: número y peso medio de bulbo total y comercial; número y peso total, descartes y sus causas (bacteriosis, fusariosis, florecidas, brotaciones, doble, quemado y pudriciones). También se clasificaron las cebollas comercializables según diámetro (menores a 4 cm, 4 a 5 cm, 5 a 7 cm, 7 a 9 cm y mayores a 9 cm de diámetro).

Luego de que se realizó la evaluación de rendimiento se instalaron parcelas de almacenamiento con 40 cebollas por cultivar y por repetición. Durante el almacenamiento se realizaron dos evaluaciones poscosecha en la segunda quincena de mayo y en la primera quincena de agosto. En esta etapa se evaluó el peso y número de cebollas sanas, y el peso y número de bulbos que se encontraban con bacteriosis, brotaciones, o fusariosis.

3.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.2.1. Curado de la base datos

La base de datos inicial fue conformada mediante información obtenida de los diferentes ensayos realizados durante los años de evaluación. La base de datos inicial cuenta con 47 columnas (variables) y 875 filas (repeticiones de cada material genético) con información de diez años de ensayos. En la figura 6, se presenta la matriz de caracterización de la base de datos inicial con la información disponible acerca del número de genotipos evaluados por año y genotipos en común entre años de evaluación.

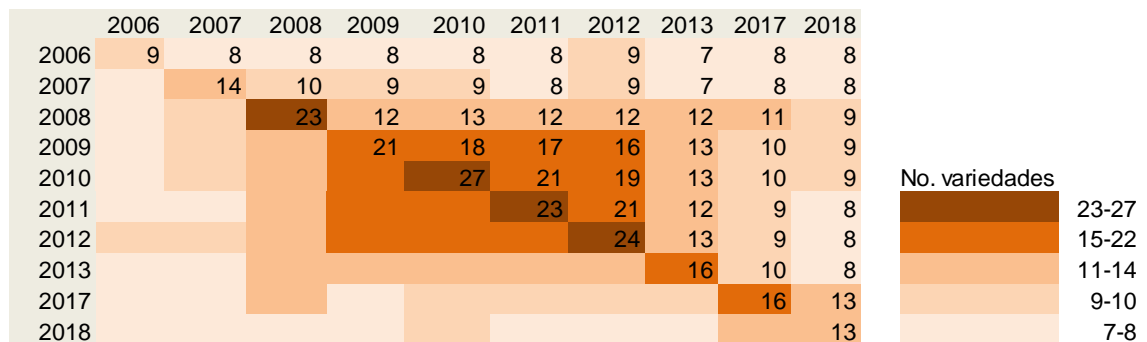


Figura 6. Matriz de caracterización del número de genotipos evaluados por año y genotipos en común entre años para la red de ensayos

De acuerdo a lo presentado en la figura 6, durante el periodo de 2008 a 2012 se evaluaron más de 20 genotipos por año. En 2010 se dio el máximo número de genotipos con la presencia de 27 genotipos. Sin embargo, en el año 2006 la base de datos contó con 9 genotipos, el menor número de materiales evaluados en un único año.

La base de datos inicial tuvo como variables de clasificación asociadas a cada unidad experimental: bloque, variedad, fecha de siembra y año. El peso total (Tot_peso) se cuantificó con la suma de peso (g) de las cebollas sanas y los descartes. La variable peso de cebollas sanas por parcela (San_peso) fue hallada mediante la sumatoria de todas las cebollas sanas y con tamaño comercial. En cambio, el peso de descarte fue calculado con la sumatoria de cebollas con problemas de floración, bacteriosis, hongos, con quemado de sol, dobles y de tamaño muy chico o excesivamente grande. En los casos donde no existía información de causa de descarte, el cálculo fue en base a la diferencia entre el peso total y el peso de las cebollas sanas (Tot_peso - San_peso).

En la figura 7 se presenta una muestra reducida con algunas filas de la base de datos inicial con las variables más importantes que fueron de utilidad para el cálculo de las variables agronómicas de interés.

	Año	Fecha	Variedad	Bloque	PMBT	PMBC	Tot_peso	Tot_N	Des_peso	Des_N
1	2018	1	Albana	1	51.46154	59.26786	4014	78	695	22
2	2018	1	Albana	2	79.59494	84.00000	6288	79	912	15
3	2018	1	Albana	3	92.37333	98.04545	6928	75	457	9
4	2018	1	Albana	4	69.54286	87.85417	4868	70	651	22
5	2018	1	Texas	1	38.89610	55.18182	2995	77	1174	44
6	2018	1	Texas	2	87.80000	91.68182	6585	75	534	9
			San_peso	San_N						
1			3319	56						
2			5376	64						
3			6471	66						
4			4217	48						
5			1821	33						
6			6051	66						

Figura 7. Base de datos inicial simplificada con las variables más relevantes en sus primeras 6 filas

Con la información disponible se definieron cuatro variables agronómicas en la que se centró este estudio:

- Peso medio de bulbo total (PMBT)
- Peso medio de bulbo comercial (PMBC)
- Rendimiento comercial (RC)
- Porcentaje comercial (%COM)

La variable PMBT fue calculada tomando en cuenta el peso total obtenido por genotipo en cada parcela y el número total de plantas (Tot_peso/Tot_N). Para estimar el PMBC se utilizó el peso de cebollas sanas y el número de plantas sanas (San_peso/San_N). Por otra parte, la variable %COM fue hallada tomando en cuenta los valores de peso de cebollas sanas y el peso total obtenido como $(\text{San_peso}/\text{Tot_peso}) \times 100$. La variable RC (Mg/ha) fue hallada mediante el uso de la variable PMBT, una densidad teórica calculada de 285714 plantas/ha y el porcentaje comercial, como $(\text{PMBT} \times 285714) \times \% \text{COM}$, y luego se realizó la conversión en Mg/ha.

El análisis estadístico comenzó con una caracterización de la base de datos inicial a través de los principales indicadores estadísticos descriptivos. Para dicho análisis, se dividieron los materiales vegetales en dos grupos: siembras tempranas precoces (fecha 1) y los de siembra semitardía y tardía

(fechas 2 y 3). Luego se realizó un análisis de componentes de varianza a través del siguiente modelo mixto, en donde todos los efectos del modelo fueron definidos como aleatorios:

$$Y_{ijk} = \mu + V_i + A_j + (VA)_{ij} + B_{(j)k} + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} = Valor observado para la variable de interés en el i-ésimo genotipo, el j-ésimo año y en la k-ésima repetición.

μ = media general

V_i = efecto del genotipo

A_j = efecto del ambiente

$(VA)_{ij}$ = efecto de la IGA

$B_{(j)k}$ = efecto bloque

ε_{ijk} = error experimental.

3.2.2. Medias ajustadas y análisis de la IGA

Con el objetivo de disminuir el nivel de desbalance en la base de datos, se realizó una depuración de datos iniciales, donde solamente permanecieron las variedades que presentaban tres o más años de evaluación. En el cuadro 1 se muestran los materiales genéticos utilizados y algunas características de cada uno para la serie de ensayos. No se utilizaron todos los años exactamente los mismos materiales vegetales.

Se realizó un ajuste de medias con el objetivo de obtener un valor promedio para cada genotipo en cada ambiente (combinación año x fecha) para cada variable de interés:

$$Y_{ijk} = \mu + V_i + A_j + B_{(j)k} + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} = variable aleatoria de interés.

μ = media general.

V_i = efecto genotipo.

A_j = efecto ambiente.

$B_{(j)k}$ = efecto bloque.

ε_{ijk} = error experimental.

Los ε_{ijk} asumen independencia y una distribución idéntica normal con media 0 y varianza σ^2 .

Con las medias ajustadas se conformó una matriz de genotipos por ambientes (matriz IGA) para cada una de las variables de interés. En este caso, al existir datos desbalanceados, los datos faltantes fueron imputados. Este análisis fue implementado en el software estadístico R, con la función `impute missing value` del paquete `metan` (Olivoto y Dal'Col Lúcio, 2020).

Para la caracterización gráfica de la IGA, diferentes análisis fueron implementados. En primer lugar, mediante la función `ge_plot` se obtuvieron gráficos para visualizar la respuesta del genotipo en los diferentes ambientes de evaluación. Posteriormente y utilizando la función `ge_effects` (`metan`) se estimaron los efectos de la IGA y se representaron gráficamente.

Cuadro 1. Características de los cultivares seleccionados para el análisis con al menos tres o más años de evaluación

Cultivar	Años	Origen	Tipo de material	Grupo	Color externo	Conservación (meses)
9719	9	FAgro	VPA	DL	Marrón	8
Brava	4	Argentina	VPA	DL	Marrón	6-7
Canarita CRS	10	FAgro	VPA	DI	Marrón	6
Cobra	4	ANASAC (Chile)	VPA	DL	Marrón oscuro	6-7
Cruce canario	4	INIA	VPA	DI-DL	Rojo	6-7
H9	6	Hazera (Israel)	Híbrido	DC	Marrón claro	2-3
INIA Albana	7	INIA	VPA	DI	Blanco	3-4
INIA Casera	10	INIA	VPA	DC-DI	Marrón claro	3-4
INIA FAgro Dulce	10	INIA	VPA	DC-DI	Amarillo y marrón claro	2

INIA Naque	10	INIA	VPA	DC-DI	Rojo	4
INIA Valenciana	7	INIA	VPA	DL	Marrón	8
Martínez	5	Pobl. Local	VC	DL	Marrón	6-8
Pantanos del Sauce CRS	10	FAGro	VPA	DI	Marrón	8
Primavera		EE.UU	Híbrido	DC	Marrón	2
Regia	10	Brasil	VPA	DC-DI	Marrón	2-3
Santina	7	INIA	VPA	DL	Marrón oscuro	6-7
Texas	9	Galassi Sementi (Italia)	VPA	DC	Amarillo a marrón claro	2
Valcatorce	3	INTA	VPA	DI-DL	Marrón	6-7
Valle	4	Bejo	Híbrido	DL	Marrón	6-7

Posteriormente, se realizó un análisis de la IGA utilizando la matriz de genotipos por ambiente a través de un modelo AMMI. El modelo AMMI utilizado se presenta a continuación:

$$\mu_{ij} = \mu + V_i + A_j + \sum b_{ik}z_{jk} + \varepsilon_{ij}$$

μ_{ij} = variable aleatoria de interés.

μ = media general.

V_i = efecto genotipo.

A_j = efecto ambiental.

ε_{ij} = error experimental.

b_{ik} = score específico del genotipo.

z_{jk} = score específico del año.

Para la correcta utilización del modelo, la matriz de IGA fue convertida en una tabla mediante la función `make_long` (metan). Después se aplicó la

función AMMI (agricolae) para la implementación del modelo AMMI. De dicho modelo se obtuvieron el análisis de varianza y el análisis de componentes principales. Para el análisis de varianza se aplicó la función ANOVA del mismo paquete que el modelo AMMI (agricolae). A través de la función fviz_pca (factoextra), se realizó un biplot de componentes principales en base a los dos componentes que capturaron una mayor proporción de la varianza fenotípica total.

3.2.3. Cálculo de covariables ambientales

Para la obtención de las covariables ambientales se recabó información climática de la estación experimental INIA Las Brujas. La estación meteorológica se encuentra ubicada en la ruta 48 km 10 en el departamento de Canelones, aproximadamente a 20 km del Centro Regional Sur de la Facultad de Agronomía. La selección de esta fuente de información se explica por la relativa proximidad al sitio de evaluación y por el gran volumen de información y de buena calidad con la que cuenta el servicio meteorológico de INIA. GRAS (2021).

Las variables analizadas fueron las siguientes:

- Temperatura mínima (°C).
- Temperatura media (°C).
- Temperatura máxima (°C).
- Precipitación acumulada (mm)
- Radiación solar por heliofanía (cal/cm²/día).

Estas variables fueron incorporadas en la planilla anteriormente modificada para el análisis de IGA. Posteriormente, la base de datos fue dividida en genotipos tempranos (fecha 1) y la combinación de genotipos semitardíos o tardíos (fechas 2 y 3). Luego se efectuó una caracterización climática a través de distintos gráficos con la función ggplot (ggplot2) para cada variable de interés.

En la planilla utilizada para la caracterización climática, se efectuó un promedio para cada variable ambiental según la combinación año y época de siembra. Los resultados fueron insertados en la matriz G x E para el análisis pls. A través del programa estadístico se dividió la matriz en variables predictoras y de respuesta. Con la función plsreg2 (plsdepot) se aplicó el modelo pls. Con la aplicación de dicho modelo se obtuvieron los coeficientes de regresión. Después se realizó un gráfico de círculo de correlaciones tomando en cuenta los dos componentes principales para visualizar qué variables ambientales y

genotipos se encuentran correlacionados. Además, se efectuó un gráfico de mapa de observaciones para realizar una clasificación de ambientes.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS DE LA RED DE ENSAYOS

El análisis de la red de ensayos es una herramienta de gran utilidad para caracterizar los diferentes años en donde se realizaron las evaluaciones (cuadro 2). Es un punto de partida hacia los análisis más detallados que se mostrarán en las diferentes partes de esta sección. La mayoría de los años evaluados comprenden los resultados de las tres fechas de siembra (temprana, semitardía y tardía), a excepción de los años 2018 (solo fecha temprana), 2006 y 2017 (solo fechas tempranas y semitardías). Se trabajó con una base de variedades de cultivares nacionales en la mayoría de los años, a la cual secundariamente se introdujeron a los ensayos variedades importadas, líneas de mejoramiento y variedades criollas procedente de diversos productores.

Para la variable rendimiento comercial (RC) el promedio anual estuvo comprendido entre los 15,1 y los 44,8 Mg/ha. Dogliotti et al. (2021) mencionan resultados en la región Sur del Uruguay de promedios de 23,3 Mg/ha de RC en la zafra 2014/2015 y 26 Mg/ha para la zafra 2015/2016. Tomando como referencia el promedio de estas dos zafras (24,7 Mg/ha), en la mayoría de los años los ensayos de la base de datos estuvieron por encima de este promedio (a excepción de los años 2007, 2012 y 2018). A su vez, para la mayoría de los años el RC obtenido estuvo por encima del promedio de rendimiento total para la zona Sur del Uruguay (20,8 Mg/ha, MGAP. DIEA, 2019). El RC promedio máximo se dio en el año 2011 con 44,8 Mg/ha. Este resultado se asocia al RC alcanzable observado por Scarlato (2020), basado en el promedio del 10% de chacras con mayores rendimientos en las zafras 2014/2015 y 2015/2016 con un promedio de 42,8 Mg/ha. Para ese año el CV fue el segundo más alto para esta variable (40,4%). El año 2010 fue el segundo año con mayor RC con una media de 35 Mg/ha, mientras que el año con los valores más bajos de RC fue el 2007 con una media de 15,1 Mg/ha y un CV de 37,7%.

En el año 2011, la media para la variable peso medio del bulbo total (PMBT) fue de 183,7 g (CV: 37,4%), la más alta para la serie de ensayos, mostrando una fuerte variabilidad entre ensayos con un rango de 59,7 g a 384,3 g. Sin embargo, el año 2007 fue el de menor PMBT con 63,4 g (CV: 31%), y un rango de valores entre 27,5 g y 108,9 g. Existe coincidencia en el ranking de los años entre las variables RC y PMBT. Esto sucede porque el PMBT y la densidad de plantación son variables que definen el rendimiento total.

Cuadro 2. Indicadores de tendencia central y de dispersión para las variables rendimiento comercial (RC, en Mg/ha), peso medio de bulbo total (PMBT, en g), peso medio del bulbo comercial (PMBC, en g) y porcentaje comercial (%COM, en %) de la red de ensayos según año

Año	Indicador	RC	PMBT	PMBC	%COM
2006	Media	28,9	117,5	120,8	86,7
	Mediana	28,7	120,8	119,2	94,9
	CV	27,0	18,7	18,2	20,2
	Rango	11,2-44,9	71,1-161,2	76,6-195,9	30,1-100,0
2007	Media	15,1	63,4	72,3	81,3
	Mediana	14,6	58,6	69,4	82,2
	CV	37,7	31,0	23,8	14,1
	Rango	3,1-28,3	27,5-108,9	41,7-113,1	40,1-99,4
2008	Media	28,5	123,5	130,2	81,6
	Mediana	29,3	119,5	125,4	88,0
	CV	31,2	27,2	23,0	21,2
	Rango	7,6-51,4	58,0-253,8	73,6-244,5	16,1-100,0
2009	Media	32,9	149,5	156,2	75,6
	Mediana	33,6	152,9	163,8	82,2
	CV	43,8	30,5	35,0	30,0
	Rango	0-61,6	51,5-253,8	0-284,8	0-100,0
2010	Media	35,0	148,7	161,6	82,2
	Mediana	35,5	153,2	164,7	85,8
	CV	34,6	31,5	26,1	17,3
	Rango	0-63,0	46,0-251,0	55,8-256,4	0-100,0
2011	Media	44,8	183,7	192,1	85,0
	Mediana	44,5	180,3	191,2	86,5
	CV	40,4	37,4	37,8	12,7
	Rango	13,0-99,1	59,7-384,3	71,7-407,6	49,4-100,0
2012	Media	22,4	89,2	97,3	86,8
	Mediana	21,1	83,1	89,7	89,3
	CV	34,8	30,2	25,4	10,9
	Rango	8,7-42,1	46,2-157,8	56,8-172,1	55,2-99,4
2013	Media	29,9	136,9	147,4	79,9
	Mediana	28,9	135,9	141,7	87,3
	CV	27,4	30,5	36,1	24,2
	Rango	10,0-48,7	70,7-253,0	73,9-335,6	26,1-100,0
2017	Media	24,9	102,2	109,9	85,2
	Mediana	26,5	100,7	111,2	87,9
	CV	36,1	35,7	29,4	12,2

	Rango	6,4-41,3	38,8-178,3	55,9-178,1	56,9-97,9
2018	Media	21,5	86,0	91,5	86,4
	Mediana	22,5	88,2	91,7	88,3
	CV	36,3	34,5	28,2	10,3
	Rango	6,0-35,7	34,9-145,9	47,8-140,9	59,9-99,5

CV: coeficiente de variación.

Según el esquema de los componentes de rendimiento (figura 2), el rendimiento se conforma en primer lugar por la tasa de crecimiento de bulbos ($\text{Kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) y la duración de la bulbificación (días). La tasa de crecimiento de bulbos está determinada por la radiación interceptada, que es dependiente del IAF. A su vez el IAF se ve afectado directamente por la densidad de plantación (Dogliotti et al., 2016). En este caso, la densidad de plantación es constante entre años, por lo que el IAF se verá determinado por otros factores como fecha de siembra y trasplante, disponibilidad de agua y nutrientes como también estado sanitario. Por lo tanto la tasa de crecimiento de bulbo y como consecuencia el PMBT, dependerá de las condiciones ambientales y del manejo para cada año que permitan un buen desarrollo de AF, y un aparato fotosintético eficiente.

El comportamiento del peso medio de los bulbos comerciales (PMBC) muestra una tendencia similar al PMBT. La media para la red de ensayos estuvo comprendida entre los valores de 72,3 g y 192,1 g. También en el año 2011, se alcanzaron los mayores resultados de PMBT con una media de 192,1 g (CV: 37,8%), con un rango entre 71,7 g y 407,6 g. El año 2007 fue el de más bajos resultados con media de 72,3 g (CV: 23,8%) y un rango comprendido entre 41,7 g y 113,1 g. La diferencia de peso de bulbo entre estos dos años está dada porque en el año 2011 el 51% del total estaba conformado por cebollas grandes de un diámetro entre 7 y 9 cm. Por el contrario, en 2007 la mayoría de los bulbos estuvieron comprendidos en un diámetro de 5 a 7 cm, y conformaron el 59% del total de cebollas. La existencia de una gran proporción de bulbos comerciales de menor calibre, tiene como consecuencia un menor PMBC, por lo tanto incide en un menor RC al final del cultivo.

Estos resultados muestran que para las variables RC, PMBT y PMBC el mejor año fue el 2011 y el peor el 2007. Estos años no tuvieron grandes diferencias en el promedio de las variables climáticas desde el momento de trasplante hasta la cosecha, principalmente en fechas tempranas (anexo 8). En los ensayos de evaluación de cultivares, Peluffo et al. (2012) destacan al año 2011 como un año donde se dieron las condiciones climáticas favorables para el crecimiento del cultivo, cercanas al promedio histórico nacional. Sin embargo, Peluffo et al. (2008) señalaron que en el año 2007 para las fechas tempranas y

semitardías las bajas temperaturas desde mayo hasta septiembre provocaron un retraso en la etapa de inicio del crecimiento de los almácigos y primeros días de la etapa postrasplante, destacando un significativo descarte por floración. El promedio de temperaturas mínimas, media y máxima desde mayo a setiembre para el año 2007 fueron de 5,7, 10,4 y 15,8 °C respectivamente. Sin embargo, para el año 2011 fueron levemente más altas (6,2, 11,2 y 16,5 °C).

Aparte de los factores climáticos, las diferencias entre años podrían estar influidas por factores que determinan el rendimiento potencial como la variedad, fecha de siembra y la calidad de plantin. En este estudio se analizan las condiciones ambientales a partir del trasplante, pero pudieron existir diferencias en las condiciones ambientales en la etapa de siembra a trasplante que pudieron determinar la calidad de plantin. En relación a las fechas de siembra no hubo grandes diferencias entre años. Sin embargo, al estar agrupados los genotipos en una determinada fecha de siembra en algunos casos no se respetó la fecha óptima en algunos cultivares. También pudieron existir factores limitantes que influyeron en el rendimiento alcanzable. Las rotaciones en los lugares de la realización de ensayos que definieron diferentes tipos de suelos según año. Otro factor puede ser la disponibilidad hídrica para el cultivo. Si bien en todos los casos de la serie son cultivos bajo riego, la ocurrencia de lluvias según frecuencia e intensidad pudieron ser un factor limitante del rendimiento en algún año concreto por problemas de anegamiento, baja calidad de luz y mayor humedad relativa. La influencia de las precipitaciones favorecen el desarrollo de enfermedades foliares y de bulbo que pueden afectar el rendimiento y la capacidad de conservación (Vilaró et al., 2005).

La variable porcentaje de bulbos comerciales (%COM) presentó resultados distintos a las demás variables. En el promedio de los ensayos no se observaron grandes diferencias. Los valores oscilaron entre 75,6% y 86,8%, se consideran que son valores aceptables de %COM y minimizar el porcentaje de descarte es una estrategia para aumentar dichos valores. Los mayores %COM se dieron en los años 2012, 2006 y 2018 (86,8, 86,7 y 86,4) respectivamente. Por ejemplo el año 2012 el rango de %COM fue de 55,2 y 99,4 con un CV de 10,9%. En cambio otro año bueno como 2006 presentó un rango más amplio de %COM de 30,1 a 100 y con un CV de 20,2% casi el doble al año 2012. Esta alta variación en el año 2006 está dada por la alta variabilidad intragenotípica con genotipos con CV de 2,6% hasta 37,1%. Por el contrario el año 2009 presentó la media más baja de 75,6, con un rango de %COM de 0 a 100 (CV 30.0). El rango muy amplio se explica por la diversidad de materiales de DC, DI y DL. Los años de mayor %COM no siempre coinciden con los mejores años de RC. A diferencia de la relación directa entre RC y PMBT o PMBC, los factores que inciden sobre el %COM no podrían ser exactamente los mismos que afectan a

esta variable. Se puede tener un RC bajo, pero un %COM alto debido a que los bulbos son de menor tamaño pero aptos comercialmente.

El año 2018 muestra uno de los mejores resultados de %COM a pesar que este año está conformado solo por genotipos de día corto, que son los de menor potencial de conservación en comparación a las demás fechas. El %COM se mide aproximadamente a los dos meses de cosecha. En este momento los cultivares o materiales genéticos de poca conservación (2-3 meses) aún están en buenas condiciones. Los motivos de descarte en este momento pueden estar relacionados fundamentalmente a las pudriciones por bacteriosis y al tamaño de bulbo. Las pudriciones por bacteriosis dependen de la susceptibilidad de los genotipos. Además las cosechas muy tardías, daños por manipuleo y ocurrencia de lluvia o etapas alta humedad durante la cosecha y curado, provocan un aumento de pérdidas en el primer periodo de almacenamiento (Zaccari y Carballo, 2005).

Por lo tanto cada año puede tener un mismo %COM pero diferentes factores que llevaron al descarte. En el año 2018 el mayor peso de descarte fue por cebollas con pudriciones, seguido del tamaño del bulbo. Sin embargo en el año 2012 el mayor porcentaje de descarte en la mayoría de las fechas fueron por tamaño chico (Peluffo et al., 2013). Pero en 2009 el año con menor %COM, las causas de descartes fueron diversas: floración (tempranas), pudriciones (semitardías) o tamaño chico en tardías (Peluffo et al., 2010).

Los indicadores analizados muestran variabilidad entre los ensayos. Esto es esperable debido a que en cada ensayo hay un pool de información variable. Este análisis de los ensayos muestra resultados generales por lo cual para su análisis necesita ser desglosados en un análisis particular según el genotipo y la fecha de siembra.

4.2. COMPONENTES DE VARIANZA

La estimación de los componentes de varianza permite visualizar la partición de la varianza fenotípica total de las diferentes variables de interés. En el cuadro 3 se presentan las estimaciones de componentes de varianza para los materiales de siembra temprana, mediante el uso de un modelo mixto de efectos aleatorios.

Cuadro 3. Componentes de varianza, proporción de la variabilidad total y heredabilidad en sentido amplio para las 4 variables en estudio en variedades tempranas

Fuente	RC		PMBT		PMBC		%COM	
	Var.	%	Var.	%	Var.	%	Var.	%
Ambiente	151,8	56,1	2863,6	64,0	2887,6	66,9	59,6	19,6
Bloque	0,4	0,2	4,3	0,1	2,8	0,1	0,1	0,0
Genotipo	26,1	9,6	540,4	12,9	547,7	12,7	63,7	20,9
IGA	60,0	22,2	604,4	14,4	639,7	14,8	109,3	35,9
Residual	32,3	11,9	359,9	8,6	238,0	5,5	71,5	23,5
Total	270,6	100,0	4372,6	100	4315,8	100,0	304,2	100,0
H ²	0,11		0,14		0,13		0,27	

Para las variables RC, PMBT y PMBC el efecto principal ambiental explicó más de la mitad de la varianza con valores de 56,1, 64,0 y 66,9% respectivamente. Sin embargo, para la variable %COM el efecto que explica una mayor proporción de la varianza fenotípica total fue la IGA representando un 35,9%. El efecto IGA se encuentra en segundo lugar en las otras tres variables de respuesta con valores que oscilan entre 14,4 y 22,2%. En %COM la fuente de variación con segunda mayor proporción fue el efecto residual con un 23,5%. El efecto principal genotípico aparece en tercer y cuarto lugar para las variables evaluadas, explicando alrededor de un 9,6 a 12,7% de la variación, a excepción del %COM que casi duplica con un 23,5%.

La heredabilidad en sentido amplio fue calculada en base a los componentes de varianza. El cálculo fue realizado tomando en cuenta la varianza genotípica (V_g) sobre la sumatoria de la varianza ambiental, genotípica y de IGA ($V_g + V_e + I_{ge}$). La heredabilidad para todas las variables de interés fue baja. En RC la heredabilidad fue la más baja comparada con las demás variables con un valor de 0,11. En PMBT y PMBC la heredabilidad fue similar

con valores de 0,14 y 0,13 respectivamente. Por último, el %COM presentó la heredabilidad más alta con un valor de 0.27.

En los materiales vegetales de siembra semitardíos y tardíos como se visualiza en el cuadro 4 el orden de las fuentes de variación fue similar. Para la variable RC, PMBT y PMBC el efecto principal más importante fue el ambiental. A diferencia de los materiales tempranos el porcentaje de la variación ambiental fue más bajo con valores de 43,9, 57,7 y 52,8% respectivamente. En estas tres variables de respuesta el efecto principal IGA oscila entre un 11,6 y 19,4%. El efecto principal genotípico tiene menor incidencia, explica alrededor de un 10 % de la variabilidad en PMBT y PMBC. Para rendimiento comercial el efecto genotipo es de valor cercano al efecto de IGA (16,2%).

Cuadro 4. Componentes de varianza, proporción de la variabilidad total y heredabilidad en sentido amplio para las 4 variables en estudio en variedades semitardías y tardías

Fuente	RC		PMBT		PMBC		%COM	
	Var.	%	Var.	%	Var.	%	Var.	%
Ambiente	56,4	43,9	1147,9	57,7	1058,6	52,8	16,3	8,5
Bloque	0,8	0,6	14,2	0,7	10,4	0,5	0,0	0,0
Genotipo	20,8	16,2	208,1	10,5	196	9,8	62,0	32,4
IGA	19,9	15,5	231,5	11,6	389,8	19,4	66,3	34,6
Residual	30,6	23,8	386,7	19,5	351,5	17,5	47,0	24,5
Total	128,5	100,0	1988,4	100	2006,3	100	191,6	100,0
H ²	0.21		0,13		0,12		0,43	

El %COM fue la variable que obtuvo una respuesta con mayores diferencias entre ambas fechas de siembra comparado con las demás variables de interés. En fechas semitardías y tardías el efecto IGA representó un 34,6% (similar a tempranas 35,9%). El efecto genotípico en este caso fue de mayor magnitud, representando un 32,4% de la variabilidad total, esto representa un 11,5 % superior al caso de fechas tempranas. También se destaca la baja incidencia del efecto principal ambiente siendo un 8,5 % menor en comparación con los materiales vegetales tempranos.

El efecto residual capturó una proporción importante de la variabilidad no explicada por el modelo, en %COM en tempranas y en todas las variables de fecha siembra semitardías y tardías en un rango de 17,5% y 24,5%.

Los valores de heredabilidad en sentido amplio para todas las variables también fueron bajos, pero más altos en comparación con los materiales tempranos. La heredabilidad de RC para los materiales semitardíos y tardíos fue de 0,21. En las variables PMBT y PMBC el resultado de heredabilidad fue similar con valores de 0,13 y 0,12 respectivamente. También en este caso el %COM presentó la heredabilidad más alta en comparación a las demás variables con un valor de 0,43.

El análisis de componentes de varianza para la red de evaluación muestra que tanto para variedades tempranas como para semitardías y tardías, el componente ambiental fue la fuente que representó la mayor proporción de la variabilidad fenotípica total, a excepción de %COM, en donde la IGA fue el componente con mayor relevancia. La gran magnitud del efecto ambiental es esperable en la producción hortícola, porque utiliza germoplasma que proviene de diversas zonas del mundo y preservan exigencias climáticas particulares de su zona de origen (Aldabe, 2000). Hay una gran presencia de material de origen genético nacional pero que difieren en los ciclos del cultivo y que presentan diferente adaptación a determinadas condiciones ambientales.

En trabajos en cebolla, Mohanty y Prusti (2001), Lescay y González (2011), mostraron al igual que en este estudio que para las variables RC y PMBT, el efecto ambiental explicó la mayor proporción de la variabilidad total con valores de entre 45 y 97%. En particular, Lescay y González (2011) indicaron que la variable RC estuvo determinada por el efecto año o combinado con localidad. En el caso de la red de ensayos el efecto localidad no se aprecia al analizar una sola localidad y el efecto año es el que tiene mayor peso sobre la conformación del fenotipo. En este caso se definió como ambiente a la combinación año x fecha de siembra y no hubieron grandes diferencias entre los valores de varianza para materiales tempranos y semitardíos-tardíos por lo cual se podría entender que el efecto año por si solo es el más importante.

Para las variables PMBT y PMBC no se encontraron grandes diferencias entre estas dos variables sobre el orden y valor de las fuentes de variación. Por lo tanto, al igual que la variable RC se destaca la gran importancia del efecto año y la incidencia de los efectos meteorológicos sobre el resultado del peso medio de bulbo.

La variable %COM presentó resultados diferentes en comparación con las demás variables. En cualquier fecha de siembra el efecto IGA fue el efecto principal, seguido del efecto genotípico. En este caso gran parte del porcentaje del efecto ambiental, pasó a formar parte del efecto IGA. Según Zaccari y Carballo (2005), la buena conservación de los bulbos depende de la calidad del material genético original, del manejo en el cultivo, de la manipulación de los

bulbos en cosecha y poscosecha, del secado y de las condiciones de almacenamiento. Por lo cual es esperable un efecto importante genotípico y una alta IGA.

La heredabilidad en sentido amplio para todas las variables fue baja (rango de 0,11 a 0,43). Es esperable porque estas variables son caracteres cuantitativos, determinados por muchos genes y están influenciados por el fuerte componente ambiental presente (RC, PMBT y PMBC) o la mayor influencia del componente IGA (%COM). Una baja heredabilidad dificulta el proceso de selección. La selección es más efectiva cuando la variación genética es alta comparada con la ambiental y no viceversa (Poehlman y Allen, 2005). Es de gran importancia entender y caracterizar los componentes que influyen en una baja heredabilidad. El aumento del número de repeticiones en el diseño experimental, sería una opción para reducir la varianza ambiental. También la selección de un método de mejoramiento adecuado, adquiere relevante importancia. El uso de métodos de selección genealógica o familiar entre ellos hermanos completos y medios hermanos presenta utilidad para evaluar los caracteres cuantitativos y cualitativos pudiéndose distinguir en mayor medida la varianza genotípica de la ambiental (Acosta et al., 1994).

Para RC la heredabilidad en materiales semitardíos y tardíos (0,21) fue casi el doble en comparación con las tempranas (0,11). Estos valores son parecidos a los obtenidos por Lescay y González (2011) con un valor de 0,12, y Trivedi et al. (2006) con heredabilidad de 0,23. Cabral et al. (2008) determinaron valores de heredabilidad de productividad bajos previo al curado (0,15) y un valor medio después de curado (0,53).

Para PMBT y PMBC los valores de heredabilidad fueron similares (0,12 y 0,14). Porta (2010), realizó evaluaciones de heredabilidad de características de interés agronómico de la población local UR9719, material presente en este trabajo, determinando una heredabilidad en sentido amplio de peso de bulbo también baja (0,16). Se mencionan valores bajos de heredabilidad por Cabral et al. (2008) de 0,07, valores de 0 a 0,11 por McCollum, citado por Porta (2010) y 0,44 (Trivedi et al., 2006).

En el caso del %COM, se encontraron los valores más altos de heredabilidad en sentido amplio comparado con las demás variables, siendo esto explicado por el bajo efecto ambiental y el alto efecto IGA seguido de un efecto genotípico de mayor magnitud. Al igual que en RC el valor de heredabilidad en genotipos semitardíos y tardíos (0,43) fue más alto comparado con los genotipos tempranos (0,27).

La diferencia de heredabilidad en el RC y en %COM entre los genotipos de fecha temprana y los de fecha semitardía y tardía podría estar dada por el tipo de material presente en las distintas fechas de siembra. En fechas tempranas los materiales importados representan una proporción alta de los genotipos. En RC la varianza ambiental representa una proporción más alta comparado con fechas semitardías y tardías, además de un bajo efecto genotípico y una mayor varianza de IGA. Para la variable %COM las diferencias de heredabilidad están dadas por una proporción del efecto ambiental más alta en tempranas, pero un efecto genotípico mucho menor comparado con el otro grupo de fechas de siembra. Este comportamiento está explicado por qué en los genotipos de fecha semitardíos y tardíos la gran mayoría de los cultivares son materiales nacionales (VC Y VPA), algunos emparentados y adaptados a las condiciones locales. Por tanto, la proporción de la varianza genotípica representa un mayor porcentaje de la variabilidad total, provocando un aumento en la heredabilidad en sentido amplio.

4.3. ANÁLISIS DE IGA

4.3.1. Rendimiento comercial

Para todas las variables de interés se realizó un ajuste de medias y una imputación de datos faltantes con el objetivo de analizar la IGA. En la figura 8 se aprecia la magnitud de los efectos IGA para cada uno de los materiales vegetales analizados. Este gráfico muestra en qué medida tuvo influencia la IGA en la determinación de las variables de interés. El código de colores indica con tonalidades de color blanco que la IGA es cero, siendo el valor observado similar al predicho para ese genotipo en ese ambiente. Las tonalidades de color marrón indican que existió un efecto de la IGA donde los valores observados estuvieron por debajo de lo esperado, y finalmente, tonalidades en azul muestran un efecto de la IGA donde el valor observado fue mayor al esperado.

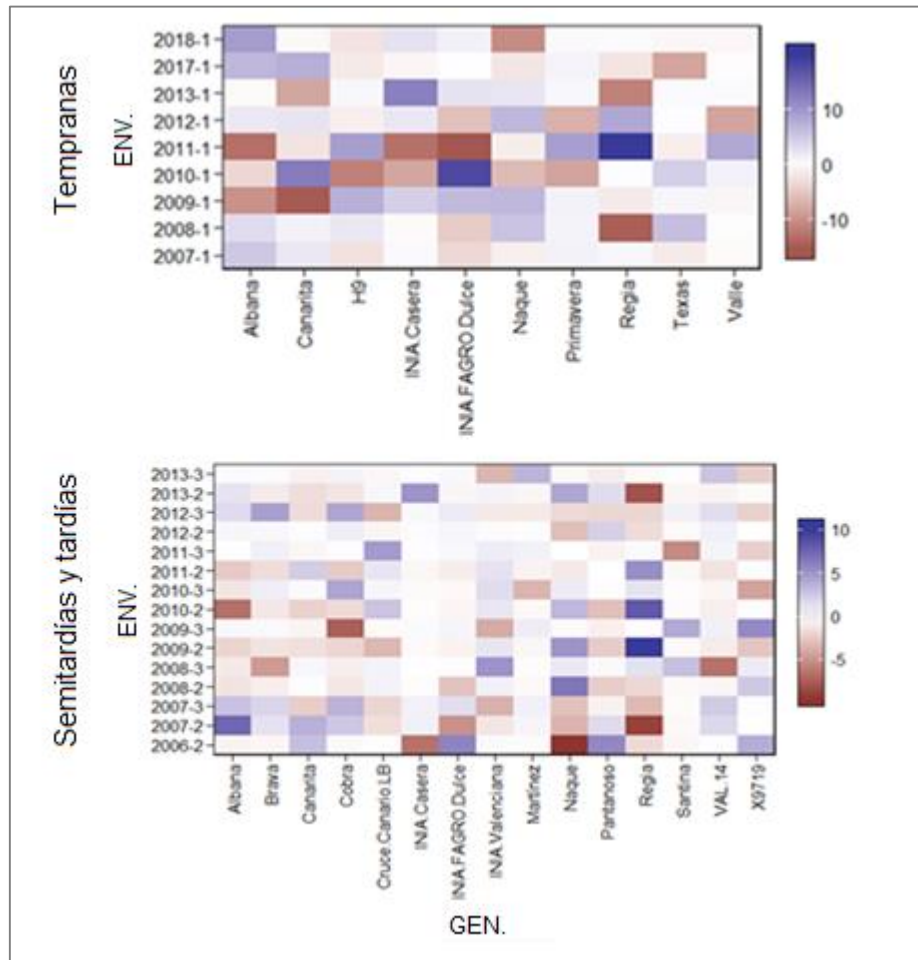


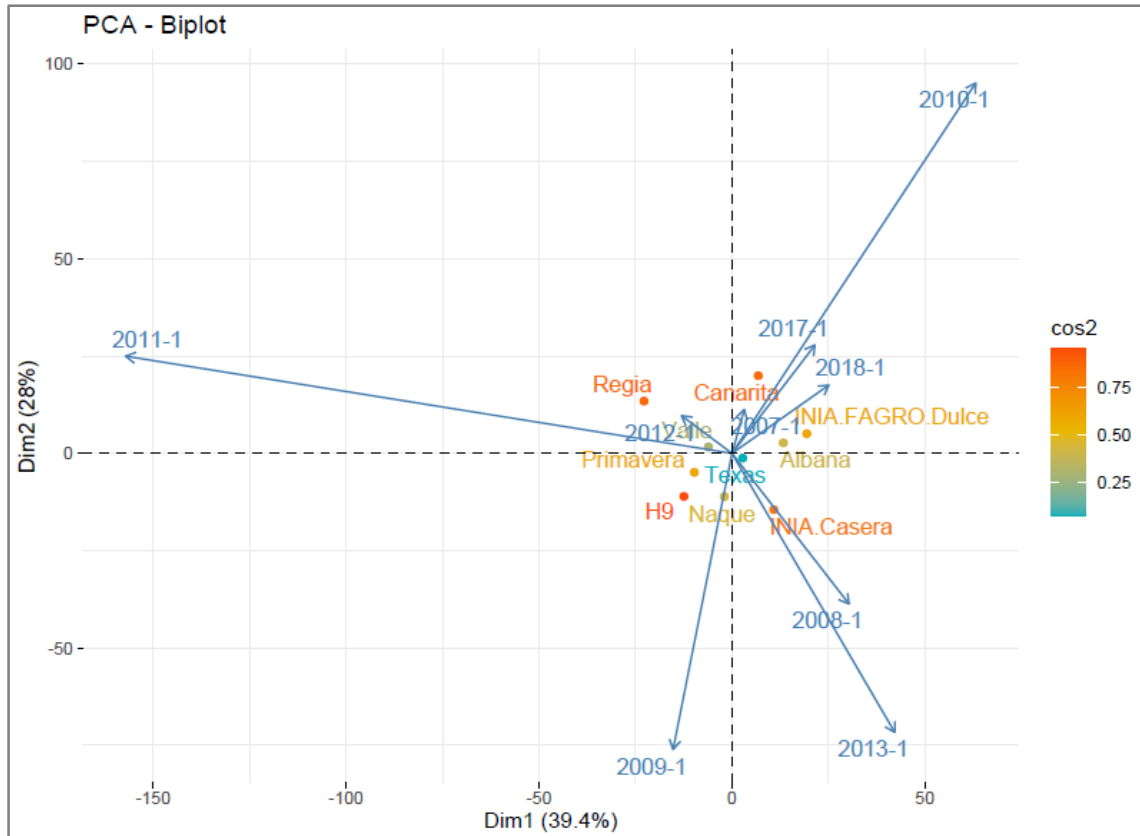
Figura 8. Efecto de la IGA sobre variable rendimiento comercial (RC) para variedades tempranas (superior) y variedades semitardías y tardías (inferior)

En las variedades tempranas se destaca la variabilidad de comportamiento a través de ambientes en las variedades Regia e INIA FAGRO Dulce. En Regia se visualiza un importante efecto de la IGA en el ambiente 2011-1 que generó un rendimiento de 10 Mg/ha por encima del valor esperado en ese ambiente. Este resultado se da en el ambiente 2011-1, en donde el promedio de los genotipos obtuvieron un RC por encima de lo esperado (anexo 1). Sin embargo, en el ambiente 2008-1 y en menor medida en el 2013-1 se observa un efecto de la IGA sobre Regia que produjo una reducción del valor observado de RC en relación al esperado. En la variedad INIA FAGRO dulce se observa una fuerte interacción cruzada, entre el ambiente 2010-1 donde el RC superó el valor esperado. En cambio en el ambiente 2011-1 hay un efecto contrario que produjo una reducción aproximada de 10 Mg/ha al RC esperado.

En las variedades Albana, Canarita y Naqué existe un patrón de variabilidad, dónde los efectos IGA son de menor magnitud comparados con las dos variedades mencionadas anteriormente.

A través de un modelo AMMI, se realizó un análisis de varianza (ANAVA) para profundizar el estudio de la IGA. Para complementar el ANAVA se realizó un biplot de componentes principales que descompone la IGA en los dos componentes principales, visualizando el comportamiento de ambientes y genotipos en relación a la IGA pudiendo evaluar estabilidad y adaptabilidad genotípica. El biplot muestra un gradiente de colores en base a un parámetro de estabilidad que va desde los genotipos más estables (coloración azul), hasta los más inestables (coloración roja). Por otro lado, los ambientes se encuentran representados mediante vectores, siendo los ambientes más alejados del centroide los que contribuyeron a una mayor IGA. A su vez, los ambientes más cercanos entre sí se encuentran fuertemente correlacionados de manera positiva, mientras que los más alejados entre sí son ambientes con menores niveles de correlación.

Los efectos IGA de la figura 8, están relacionados a los resultados obtenidos en el biplot del modelo AMMI. En el ANAVA, el factor ambiental abarca la mayoría de la suma de cuadrados en las dos fechas de siembra (anexo 4). En relación al biplot para genotipos tempranos, el primer componente (Dim1) explicó un 39,4% de la interacción y el segundo eje (Dim2) un 28%, totalizando entre ambos un 67,4% (figura 9). Los ambientes 2009-1, 2010-1, 2011-1 y 2013-1 contribuyeron a una mayor IGA (flechas más alejadas del centroide). En particular, existió una fuerte correlación negativa entre los años 2009 y 2010, estando ambos años no correlacionados con los rendimientos obtenidos en 2011. El análisis entre ambientes muestra que el 2011-1 ubicado en el cuadrante superior izquierdo, fue el ambiente en donde se encontraron mayores rendimientos. En ese ambiente, se dieron condiciones favorables para el crecimiento del cultivo con lluvias similares al promedio histórico, temperaturas favorables y con baja afectación de las enfermedades foliares (Peluffo et al., 2012). Esto indica como el efecto ambiental está muy presente y algunas variedades mostraron un mayor potencial de rendimiento en determinados ambientes.



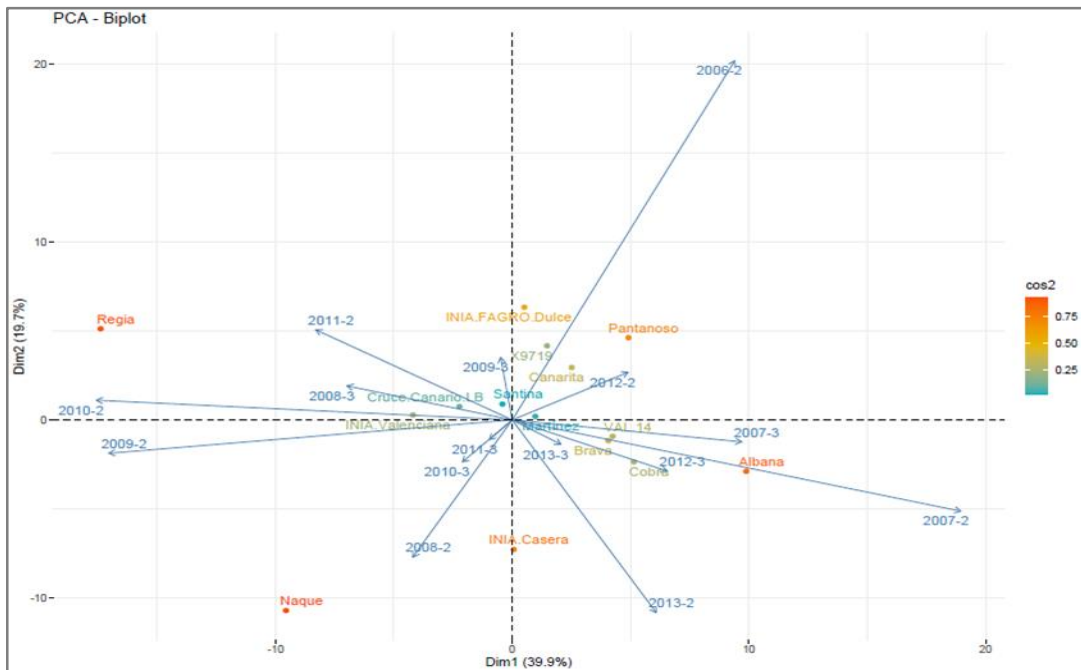
En base a los dos primeros componentes principales (Dim1 y Dim2).

Figura 9. Análisis de la IGA (AMMI biplot) en genotipos tempranos para la variable rendimiento comercial (RC) de los 10 cultivares en los 9 ambientes evaluados

En el biplot PCA se visualiza la cercanía de la mayoría de los genotipos al centroide del biplot. Esto se debe a que el efecto ambiental explica la mayor parte de la variabilidad y para esta variable existe un bajo efecto de IGA y genético. Entre los resultados mencionados se puede visualizar como en algunos genotipos la IGA fue variable entre años y se ven afectados de forma diferente. En el biplot los genotipos más alejados del centroide fueron Regia, Canarita, H9 e INIA Casera que presentan mayor inestabilidad con respecto a los demás genotipos. Las variedades que podrían ser más estables para esta fecha de siembra son las variedades Texas y Valle por el poco efecto IGA que presentaron a través de todos los ambientes de evaluación.

En los materiales vegetales semitardíos y tardíos se observa un mayor patrón de variabilidad de la IGA (figura 8), principalmente en Regia y Naqué. En el caso de Regia el efecto IGA más importante se aprecia en el ambiente 2009-2 donde el valor observado estuvo 10 Mg/ha por encima del esperado. Sin embargo en los ambientes 2007-2 y 2013-2 se visualiza un efecto contrario. En Naqué el resultado más importante se dio en el ambiente 2006-2, donde se marca un fuerte efecto IGA, superando su valor esperado. Otro resultado relevante es el bajo efecto IGA en la mayoría de los ambientes para los genotipos INIA Casera, Martínez, INIA FAGRO Dulce y Santina.

En la figura 10 se observa que los dos componentes principales concentran el 59,6% de la IGA. El primer componente explica el 39,9% de la interacción y el segundo un 19,7%. Se visualizan diferentes comportamientos de los vectores ambientales. El ambiente 2006-2 es el más alejado del centroide, indicando ser el ambiente en donde se encuentre una mayor variabilidad. Las variedades Regia, Naque, Albana y Pantanoso son las más alejadas del centroide destacándose en los ambientes 2011-2, 2008-2, 2007-2 y 2006-2 respectivamente.



En base a los dos primeros componentes principales (Dim1 y Dim2).

Figura 10. Análisis de la IGA (AMMI biplot) en genotipos semitardíos y tardíos para la variable rendimiento Comercial (RC) de los 15 cultivares en los 15 ambientes evaluados

Según el biplot en fechas semitardías y tardías los genotipos más estables fueron Martínez, Santina y Cruce Canario LB. Entre los más inestables al igual que en fechas tempranas se destaca la variedad Regia. Esta variedad se encuentra en el centroide superior izquierdo donde se pueden considerar buenos ambientes 2010-2, 2008-3 y 2011-2. Otro genotipo que presentó una importante inestabilidad fue Naqué destacándose en el ambiente 2006-2. También se aprecia una marcada inestabilidad en las variedades Albana, Pantanoso e INIA Casera. Si bien Regia Naqué y Pantanoso (en menor medida), son las que presentaron inestabilidad, alcanzaron los mejores rendimientos. Este aspecto es relevante al momento de la recomendación de variedades, ya que la presencia de un genotipo con alta estabilidad no significa que su potencial de rendimiento sea mayor, ni viceversa.

4.3.2. Peso medio de bulbo total y comercial

Los resultados sobre los efectos IGA muestran que el comportamiento de las variables PMBT (figura 11) y PMBC (anexo 7) son similares a excepción del efecto IGA para INIA FAGRO Dulce donde hubo un fuerte efecto IGA en la variable PMBT en el ambiente 2010-1. En las dos fechas de siembra se destaca el mayor efecto IGA sobre la variedad Regia en la mayoría de los ambientes. En fecha temprana esta variedad tuvo un efecto en el ambiente 2011-1, donde el PMBT estuvo 50 g por encima del valor esperado. En cambio en fechas semitardías y tardías el efecto más importante fue en el ambiente 2008-2 sobre Regia. Sin embargo, para esta variedad el ambiente 2007-2 obtuvo un efecto IGA que llevó a un PMBT 25 g por debajo del valor esperado.

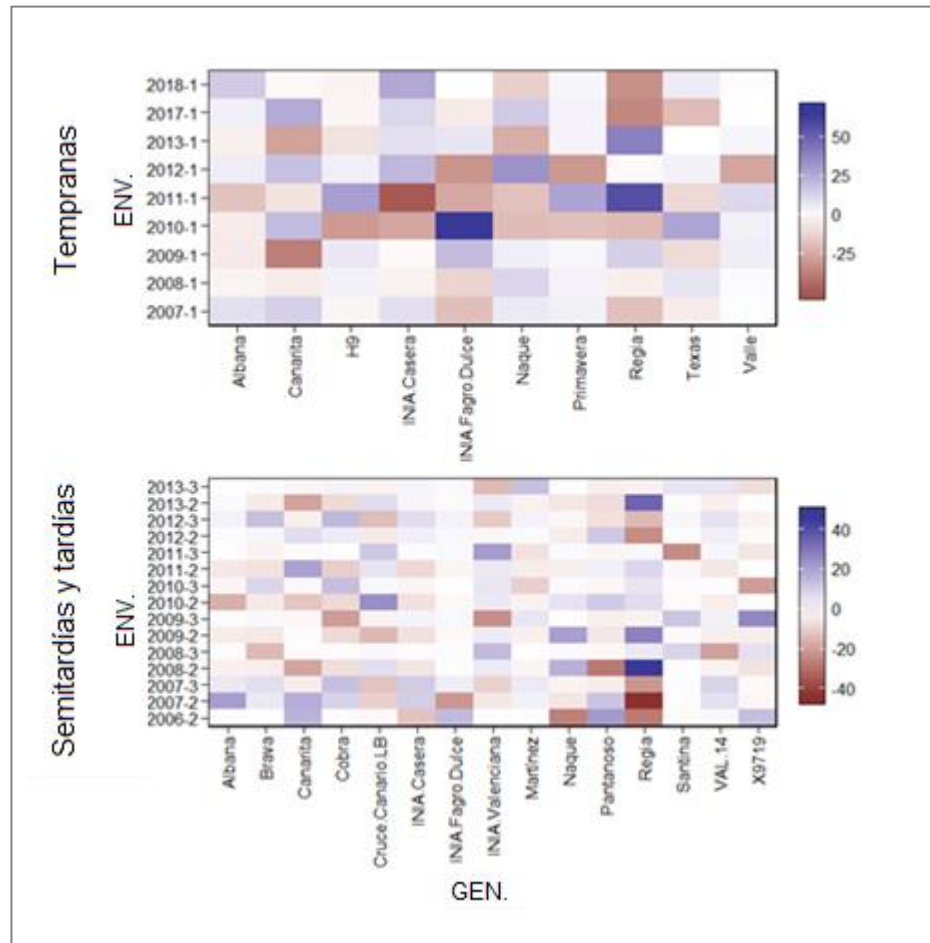
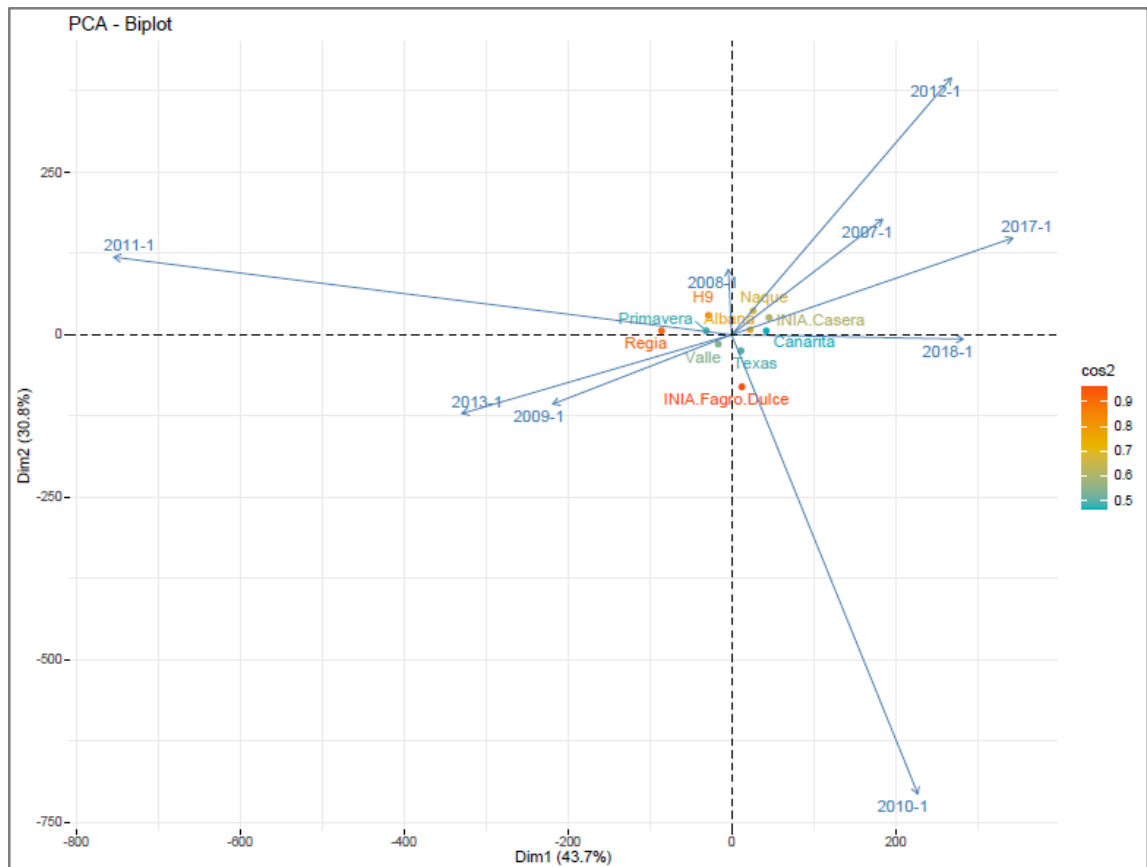


Figura 11. Efecto de la IGA sobre variable peso medio de bulbo total (PMBT) para variedades tempranas (superior) y semitardías y tardías (inferior)

El ANAVA para estas dos variables muestra que en término de suma de cuadrados, el efecto principal también es el ambiental (anexo 5) para cualquier fecha de siembra. En el biplot de componentes principales en genotipos tempranos (figura 12) para PMBT, el primer componente abarca un 43,7% de la IGA, mientras que el segundo un 30,8% totalizando un 74,5% de la interacción. Al igual que en los resultados de RC los genotipos están cercanos al centroide y los ambientes más alejados, destacando nuevamente el importante efecto ambiental sobre estas variables.



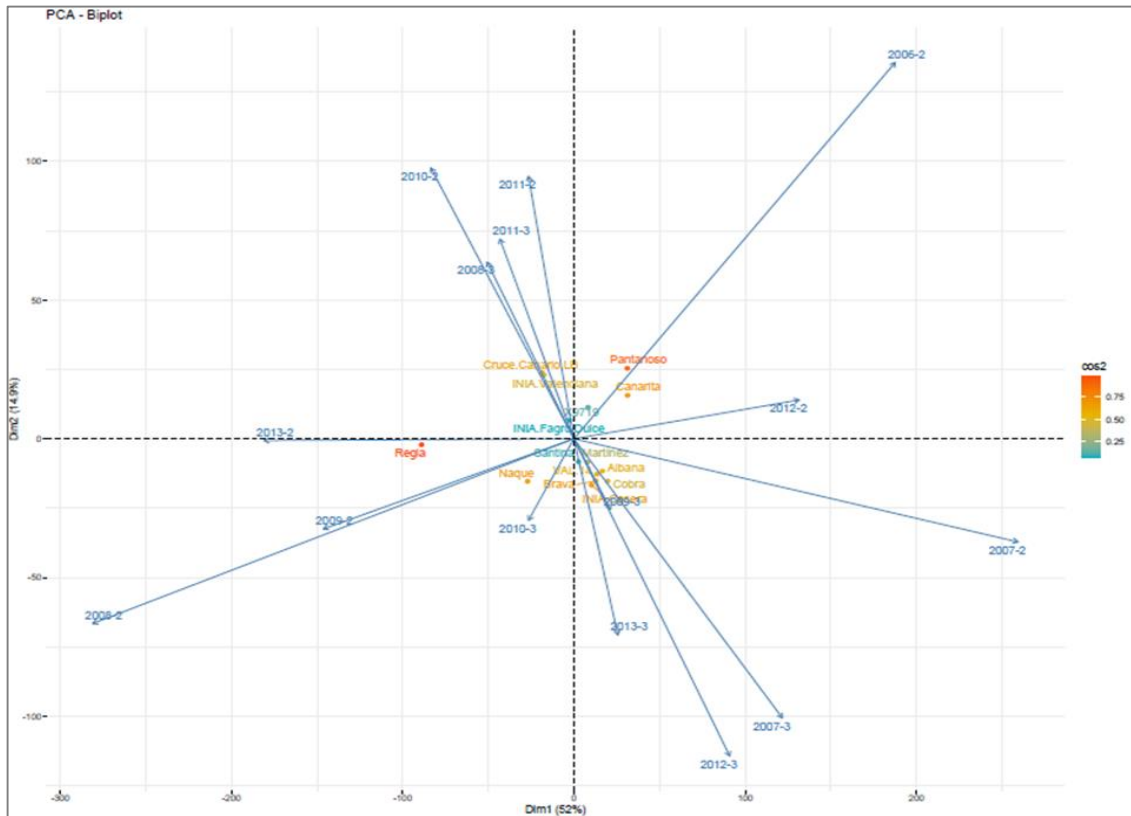
En base a los dos primeros componentes principales (Dim1 y Dim2).

Figura 12. Análisis de la IGA (AMMI biplot) en genotipos tempranos para la variable peso medio de bulbo total (PMBT) de los 10 cultivares en los 9 ambientes evaluados

El biplot de componentes principales para la variable PMBT destaca a los ambientes 2011-1, 2010-1 y 2012-1 como los de mayor variabilidad y totalmente opuestos entre sí. En el ambiente 2011-1 al igual que sobre RC la variedad Regia fue la destacada. Sin embargo, las condiciones del ambiente 2010-1 se mostraron favorables al desarrollo de INIA FAGRO Dulce. En el ambiente 2012-1 no hay un genotipo que resalte significativamente, pero este ambiente se correlaciona con los ambientes 2007-1 y 2017-1. Si se compara con el biplot de la variable PMBC (anexo 7), el ambiente 2018-1 está dentro de los más alejados junto a los mencionados para PMBT. Para este ambiente la variedad destacada fue INIA Casera. En el ambiente 2012-2 se visualiza una mayor asociación entre este ambiente y la variedad Naque para PMBC.

En relación a los genotipos que presentaron mayor estabilidad para PMBT en fechas tempranas, fueron Texas, Primavera y Canarita. Este resultado se diferencia con los de PMBC donde la variedad Albana presentó mayor estabilidad. La variedad más inestable para PMBT fue INIA FAGRO Dulce seguida de Regia y en menor medida H9. En cambio Regia presentó mayor inestabilidad en PMBC, seguido de Naqué y Canarita (considerada estable para PMBT).

En materiales vegetales semitardíos y tardíos el biplot de componentes principales explica un 66,9% de la interacción (figura 9). Los resultados para PMBT son parecidos a los obtenidos en PMBC. En el cuadrante superior izquierdo aparecen agrupados los mejores ambientes 2008-3 ,2010-2, 2011-2 y 2011-3. En este grupo de ambientes mostraron un mejor desempeño productivo las variedades Cruce Canario LB e INIA Valenciana. En cambio, en el cuadrante inferior derecho aparecen los ambientes con resultados de PMBT y PBMC bajos, estos son 2007-2, 2007-3, 2012-3 y 2013-3. En este grupo los genotipos con mayor asociación son Albana, Cobra, Brava, INIA Casera y Valcatorce. Los genotipos sin variación de la IGA son Santina, INIA FAGRO Dulce y 9719.



En base a los dos primeros componentes principales (Dim1 y Dim2).

Figura 13. Análisis de la IGA (AMMI biplot) en genotipos semitardíos y tardíos para la variable peso medio de bulbo total (PMBT) de los 15 cultivares en los 15 ambientes evaluados

Los genotipos que pueden considerarse estables para la variable PMBT y PMBC en fechas semitardías y tardías son Santina, INIA FAGRO Dulce y 9719. La variedad Santina presentó estabilidad para la variable Rendimiento Comercial. La variedad Regia es la más inestable, sin embargo fue de las que presentó mayores promedios de PMBT y PMBC. Otra variedad que presenta cierta inestabilidad es Pantanoso. Vale destacar que este cultivar obtuvo buenos resultados para estas dos variables.

4.3.3. Porcentaje comercial

En esta variable, se observa un mayor efecto IGA en los genotipos tempranos (figura 14). Al igual que en las variables mencionadas anteriormente, la variedad Regia se destaca por su comportamiento cambiante. En fechas tempranas hubo un fuerte efecto IGA sobre los ambientes 2008-1, 2013-1 que provocó una reducción de hasta un 30% del %COM en Regia. En el ambiente 2009-1, también se encontró el mismo efecto sobre la variedad Albana. Entre los genotipos que tuvieron menos variabilidad en fechas tempranas se destaca la variedad Valle. En relación a las fechas semitardías y tardías se destacan un patrón de variabilidad marcado en Regia seguido de uno más tenue en variedad Naqué. Los ambientes 2013-2 y 2008-2 provocaron un efecto donde el valor observado fue menor al esperado en esos ambientes.

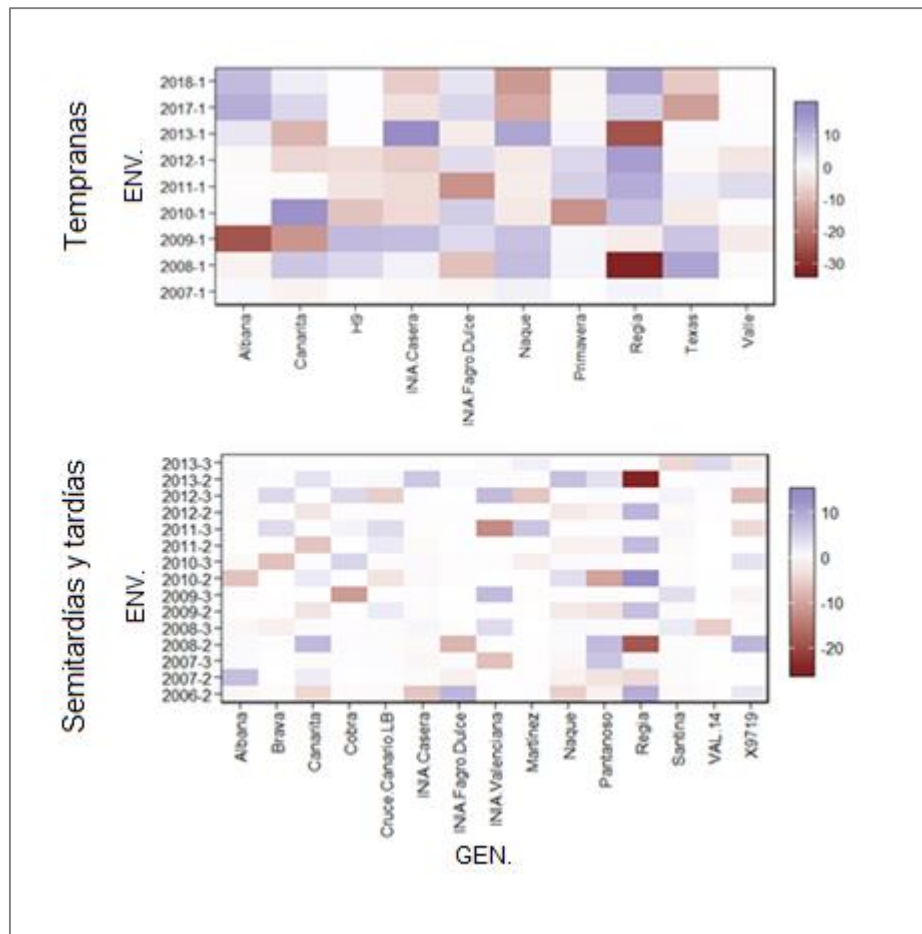
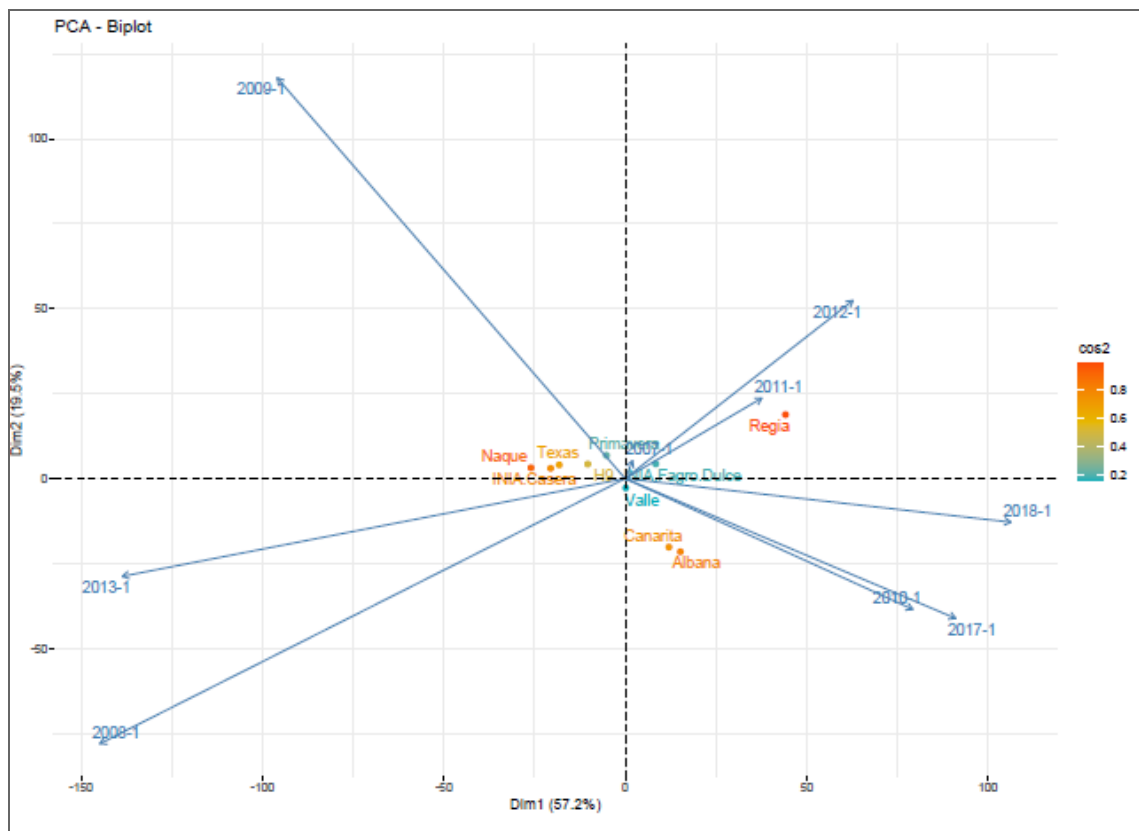


Figura 14. Efecto de la IGA sobre la variable porcentaje comercial (%COM) para genotipos tempranos (superior) y semitardías y tardías (inferior)

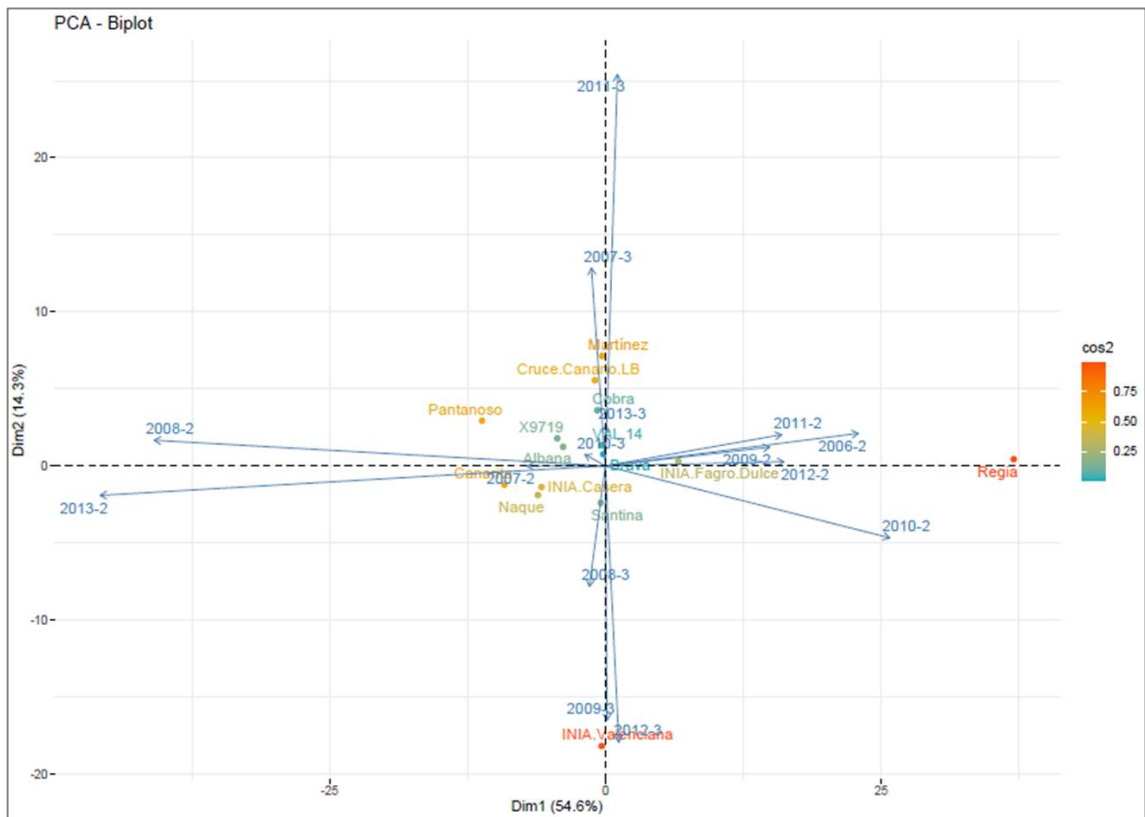
En el análisis de varianza AMMI a diferencia de las variables analizadas anteriormente el efecto genotípico es el que abarca la mayor proporción de la suma de cuadrados total (anexo 6). El biplot de componentes principales en materiales vegetales tempranos de la figura 15, explica un 76,7% de la IGA. En el gráfico se visualiza al ambiente 2009-1 en el cuadrante superior izquierdo. Este ambiente se encuentra en el año donde hubo menor %COM promedio según el análisis de la red de ensayos. Este ambiente presenta un comportamiento opuesto a los 2010-1 y 2017-1. Los ambientes 2011-1 y 2012-1 ubicados en el cuadrante superior derecho están correlacionados y la variedad más destacada en esos ambientes fue Regia. En cambio los ambientes 2008-1 y 2013-1 tuvieron un comportamiento opuesto a los mencionados anteriormente y no hay una variedad que se destaca significativamente sobre las demás.



En base a los dos primeros componentes principales (Dim1 y Dim2).

Figura 15. Análisis de la IGA (AMMI biplot) en genotipos tempranos para la variable porcentaje comercial (%COM) de los 10 cultivares en los 9 ambientes evaluado

Los genotipos que revelaron una mayor estabilidad en %COM son INIA FAGRO Dulce, Primavera y Valle. En cambio al igual que todas las variables la variedad Regia reafirma su inestabilidad, seguido en menor medida por Naqué. En el biplot PCA para genotipos semitardíos y tardíos explica el 68,9 de la IGA (figura 16). En comparación con fechas tempranas se observa que los ambientes se encuentran muy cercanos a los ejes del biplot. Esto podría ser indicativo de la mayor influencia del efecto genotípico que el ambiental en los efectos de la IGA.



En base a los dos primeros componentes principales (Dim1 y Dim2).

Figura 16. Análisis de la IGA (AMMI biplot) en genotipos semitardíos y tardíos para la variable porcentaje comercial (%COM) de los 15 cultivares en los 15 ambientes evaluados

Los genotipos más estables en el %COM fueron Brava y Valcatorce. Estas dos variedades no estuvieron entre las destacadas en %COM (anexo 3). Esto reafirma que una mayor estabilidad no es indicativo de que un genotipo sea mejor que otros sobre una determinada variable. Al igual que en todas las variables Regia sigue siendo la más inestable. Otro genotipo con una

inestabilidad considerable es INIA Valenciana y se asocia a ambientes de fechas tardías como 2013-3 y 2009-3.

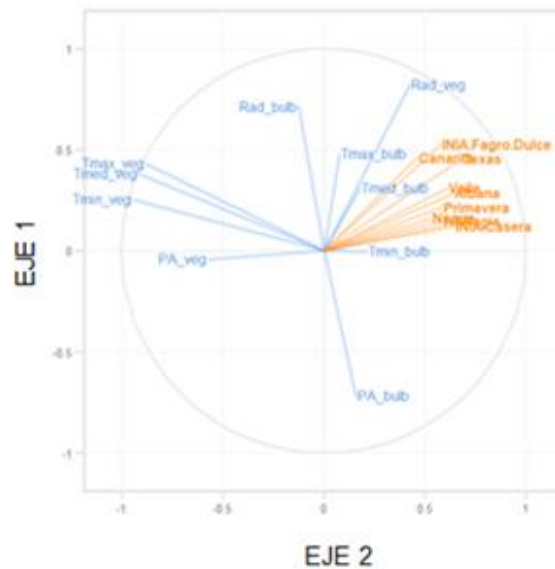
4.4. COVARIABLES AMBIENTALES

El análisis de covariables ambientales es importante para identificar qué factores ambientales tienen mayor incidencia sobre la formación de las variables de interés. A continuación se realiza un análisis sobre las variables agronómicas PMBT y %COM. El análisis se basa en el círculo de correlaciones que estudia la presencia de asociaciones entre las variables climáticas y los genotipos. La magnitud de las covariables fueron medidas mediante coeficientes de regresión, para medir qué variables se asociaron más a las variables agronómicas en estudio. Además se presenta un mapa de observaciones que clasifica los mejores ambientes para la variable agronómica en estudio según sus características climáticas.

4.4.1. Peso medio de bulbo total

En el análisis de las covariables ambientales para el PMBT, los dos componentes principales abarcan un 46,3 % de la variabilidad total (figura 17). Se visualiza que los genotipos tienen una respuesta similar a las variables climáticas. Este resultado demuestra la importancia del efecto ambiental sobre la formación del PMBT. Sin embargo, los bajos coeficientes de regresión de las variables climáticas, indican la preponderancia de otros factores ambientales sobre la formación del PMBT. El ambiente también se define por la tecnología (densidad de plantas, riego, fertilización) y principalmente por la calidad del suelo (Cabrera et al., 2017).

a)



b)



a) Círculo de correlaciones, b) Mapa de observaciones. La variabilidad es explicada por dos componentes principales (CP1 y CP2).

Figura 17. Análisis de regresión PLS para los genotipos de fecha temprana y covariables ambientales para la variable agronómica PMBT

Se destaca una correlación positiva entre los genotipos y la radiación durante la etapa vegetativa (Rad._veg.) en fechas tempranas. El coeficiente de regresión para esta covariable se encuentra en un rango de 0,28 a 0,55 según genotipos (anexo 9), siendo INIA FAGRO Dulce el genotipo más correlacionado. El rendimiento del bulbo se correlaciona con la interceptación de la radiación total, un mayor IAF y un porcentaje alto de la irradiación solar es importante para la obtención de un alto rendimiento de bulbo (Arias y Peluffo,

2001). Esto se relaciona a que una mayor radiación en etapa vegetativa incide en una mayor producción de fotoasimilados y por lo tanto un mayor IAF a inicio de bulbificación. El IAF al inicio de esa etapa es importante, porque desde su comienzo las hojas detienen su crecimiento y los fotoasimilados son dirigidos hacia la formación del bulbo. Sin embargo una alta IAF a inicio de bulbificación es una condición necesaria pero no suficiente para obtener un alto rendimiento (Dogliotti et al., 2021)

En el caso de la precipitación acumulada vegetativa (PA_veg), presenta una correlación negativa con la Rad._veg. Si bien la PA_veg. no se correlaciona directamente con el PMBT, su efecto es más importante sobre la Rad._veg. La radiación interceptada depende de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) y del índice de área foliar (IAF) al inicio de la bulbificación (Dogliotti et al., 2016). Por lo tanto, mayor precipitación significa más días nublados y una menor radiación PAR, como también un menor IAF a inicio de bulbificación. Como se mencionó anteriormente una menor radiación incidente significa una reducción del proceso de la fotosíntesis y como consecuencia menos fotoasimilados para la planta provocando un menor crecimiento. La formación de un buen aparato fotosintético en la etapa desde trasplante a inicio de bulbificación es importante para el proceso de bulbificación donde la radiación interceptada por el cultivo en esta etapa define el PMBT.

En el caso de la temperatura existe una asociación negativa en la etapa vegetativa (Tmín._veg., Tmed._veg. y Tmáx._veg.) en lo que refiere al PMBT. La correlación más importante se dio en la temperatura mínima vegetativa (Tmín._veg.) con valores de coeficientes de regresión entre -0,19 y -0,24. Los coeficientes de regresión bajos son esperables en esta variable climática. Es un cultivo donde la mayor parte del ciclo transcurre en invierno y en menor tiempo sobre la primavera presentando un rango de temperaturas amplio para su crecimiento. Lescay y Moya (2006), mediante el uso de correlaciones canónicas, encontraron un efecto negativo de la temperatura sobre las variedades durante su evaluación. Esto puede relacionarse con que a mayor temperatura, el fotoperiodo mínimo necesario para inducir el desarrollo del bulbo es generalmente más corto (Brewster, 1990). Por lo tanto, se adelantará el inicio de bulbificación y como consecuencia no llegaría a un IAF óptimo, disminuyendo la DAF, desfavoreciendo la etapa de bulbificación con formación de bulbos más pequeños. También el efecto negativo de la temperatura, puede estar relacionado al incentivo de factores de estrés como un aumento en la tasa de transpiración y efecto negativo sobre la respiración de mantenimiento adelantando la bulbificación.

En contrasentido, se encontró una muy leve correlación positiva entre la temperatura en etapa de bulbificación ($T_{\text{mín.}_\text{bulb.}}$, $T_{\text{med.}_\text{bulb.}}$ y $T_{\text{máx.}_\text{bulb.}}$) y los genotipos. Esto es esperable porque el promedio de temperatura media en etapa de bulbificación para genotipos tempranos fue de $17,9^{\circ}\text{C}$ (anexo 8), mientras que la bulbificación se acelera con temperaturas entre 21 y 26°C (Izquierdo, citado por Arias y Peluffo, 2001). En este caso, aumentos de temperatura generarían una respuesta positiva en la tasa de crecimiento del bulbo porque se estaría acercando al rango de temperatura óptima de esta etapa.

El mapa de observaciones (figura 17b), muestra la clasificación de los ambientes, desde los mejores a los peores ambientes según las variables de interés. El ambiente con mejor desempeño fue el 2011, seguido del ambiente 2013. Esto reafirma lo analizado en puntos anteriores, destacando al ambiente 2011-1 como el mejor ambiente para genotipos tempranos. En estos ambientes las variables climáticas estuvieron cercanas al promedio (anexo 8). El ambiente con calificación más baja fue el 2017-1 diferenciándose de los demás. El ambiente 2017-1 se caracterizó por temperaturas superiores a los demás ambientes ($T_{\text{med.}_\text{veg.}} = 13,7^{\circ}\text{C}$) en etapa vegetativa en comparación al promedio total ($T_{\text{med.}_\text{veg.}} = 11,9^{\circ}\text{C}$) y una alta precipitación acumulada (557 mm).

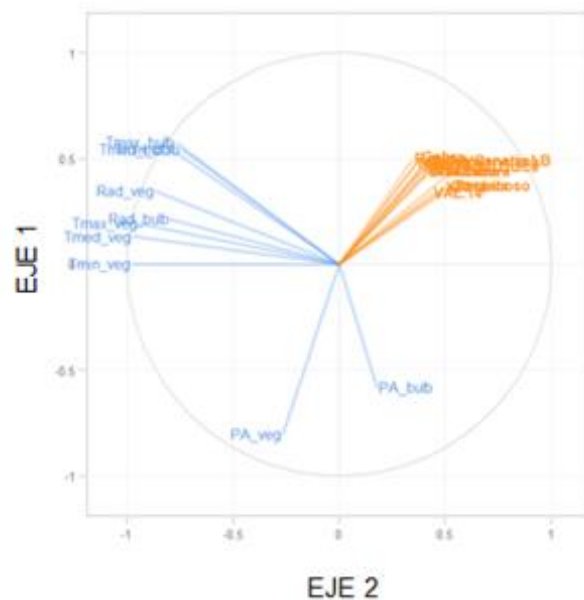
En el caso de los materiales semitardíos y tardíos los dos componentes principales abarcan un 39,1% de la variabilidad total (figura 18). Según el círculo de correlaciones todas las variedades tienen un comportamiento semejante destacando nuevamente la mayor influencia del efecto ambiental sobre el genotípico para esta variable. Al igual que en variedades tempranas, existe una correlación negativa entre la temperatura en etapa vegetativa (más significativa en $T_{\text{mín.}_\text{veg.}}$) y los genotipos. En $T_{\text{mín.}_\text{veg.}}$ los coeficientes de regresión se encuentran en un rango de $-0,26$ y $-0,29$. También las temperaturas media y máxima en etapa vegetativa se correlacionan más en estas fechas de siembra comparada con las tempranas. Al igual que en variedades tempranas, la temperatura tiene una baja correlación positiva (pero de mayor magnitud) en etapa de bulbificación. Esta baja correlación positiva en etapa de bulbificación podría estar dada por los genotipos tardíos. Estuvieron expuestos a temperaturas más altas ($T_{\text{med.}_\text{bulb.}} = 22,1^{\circ}\text{C}$ y $T_{\text{máx.}_\text{bulb.}} = 28,6^{\circ}\text{C}$), en comparación con los genotipos semitardíos ($T_{\text{med.}_\text{bulb.}} = 19,1^{\circ}\text{C}$ y $T_{\text{máx.}_\text{bulb.}} = 25,4^{\circ}\text{C}$). Por lo tanto, en este caso, aumentos de temperaturas harán que la temperatura esté por encima del rango óptimo de bulbificación.

Se visualiza una correlación negativa entre la precipitación y el PMBT. La $Pa_{\text{veg.}}$ se correlacionó más (coeficientes de $-0,26$ a $-0,33$) en comparación con la precipitación acumulada en etapa de bulbificación ($-0,13$ a $-0,16$). Esa

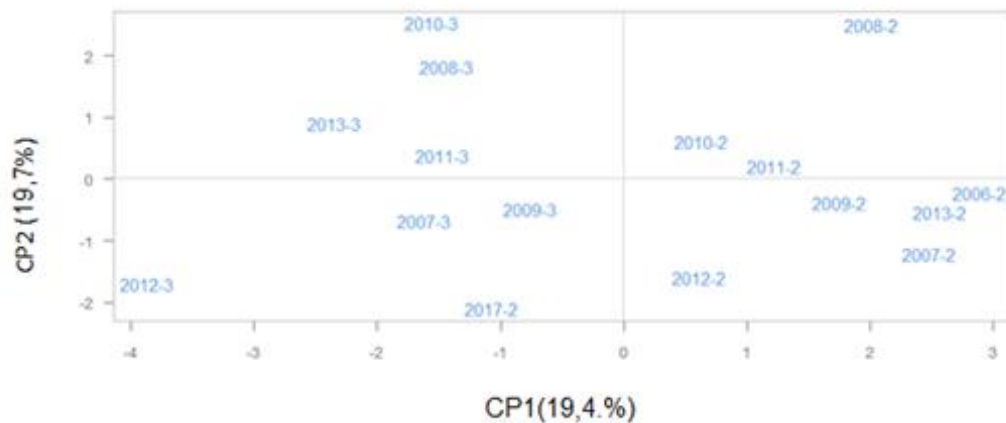
mayor diferencia estaría explicada por el control del régimen hídrico en etapa de bulbificación mediante uso de riego. En comparación con la fecha temprana hay una correlación directa con el PMBT. Como se mencionó anteriormente con la ocurrencia de más precipitaciones, hay más días nublados y una menor radiación incidente. En el caso de la PA_bulb. prácticamente no existía correlación, sin embargo en fechas semitardías y tardías la correlación negativa estaría teniendo incidencia. Además de una menor radiación interceptada las precipitaciones podrían estar relacionadas a la aparición de enfermedades. En esta etapa, la principal enfermedad que afecta a este cultivo es *Peronospora destructor*. Un periodo de hoja mojada por lluvia y rocío sería un factor beneficioso para esta enfermedad. Doglioti et al. (2021) determinaron en estudios de brechas de rendimiento que, para los cultivos con un mayor IAF y altos rendimientos, la principal causa de brecha de rendimiento fue la incidencia y severidad de peronóspora.

En cuanto a la evaluación de los ambientes, se encuentran claramente diferenciados en dos grupos. Existe una buena puntuación de los genotipos semitardíos y la baja calificación de los genotipos tardíos (junto al ambiente 2017-2). En el Sur del Uruguay las variedades de mayor importancia son las de ciclo intermedio y tardío (Vicente et al., 2007). Estos resultados muestran que los cultivares de ciclo intermedio y ambientes de fechas semitardías presentan condiciones climáticas favorables que expresan un mayor potencial de rendimiento para la zona Sur del Uruguay en comparación con las fechas tardías.

a)



b)



a) Círculo de correlaciones, b) Mapa de observaciones. La variabilidad es explicada por dos componentes principales (CP1 y CP2).

Figura 18. Análisis PLS regresión entre los genotipos de fechas semitardías-tardías y covariables ambientales para la variable agronómica PMBT

Cabrera et al. (2017) señalan que en ensayos experimentales realizados en el Centro Regional Sur y en INIA Las Brujas los materiales de ciclo intermedio presentaron un rendimiento 20 a 30% mayor en comparación con los de ciclo largo. Este comportamiento se explica por la diferencia de las altas temperaturas de los genotipos tardíos comparados con los materiales vegetales semitardíos. Las variedades tardías tendrían que alcanzar un mayor IAF a inicio de bulbificación y por lo tanto un mayor potencial de rendimiento, sin embargo

estas variedades se ven perjudicadas por las condiciones estivales de temperaturas altas y déficit hídrico (Cabrera et al., 2017). Por ejemplo, las altas temperaturas del ambiente 2017-2 comparados con los demás ambientes semitardíos tuvo un comportamiento más parecido a los ambientes de fechas tardías.

4.4.2. Porcentaje comercial

En el caso del %COM al igual que la variable PMBT, los resultados de los coeficientes de regresión también fueron bajos. En el grupo de fechas de siembra tempranas los dos componentes principales explican un 50,4% de la variabilidad total. Se visualiza en el círculo de correlaciones (figura 19), que los genotipos de DC están diferenciados con los de DI (Canarita y Naque) en su respuesta al ambiente. De los genotipos de DC, la mayor diferencia se da entre Texas y los demás cultivares. Texas no presenta respuesta significativa al ambiente, ubicado en el centroide del círculo de correlaciones. Esta respuesta podría estar explicada porque es un cultivar importado, difundido en el mundo, que se ha adaptado a diferentes ambientes.

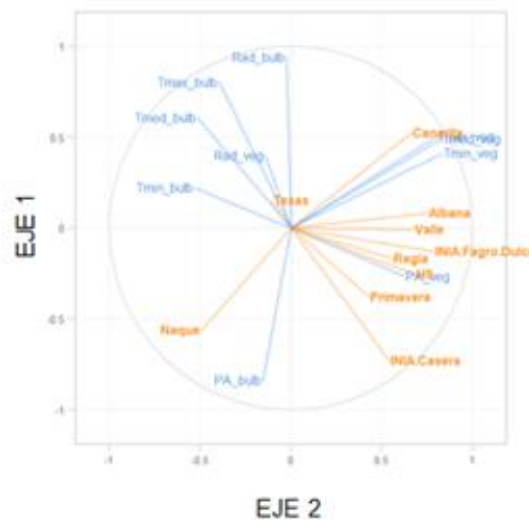
Los demás genotipos de DC se correlacionan negativamente con las temperaturas en etapa de bulbificación. Estos genotipos comienzan a bulbificar en la primavera temprana, con temperaturas más frescas. Si existen aumentos de temperatura se acelera la bulbificación, pero perjudica el largo del ciclo, es más corto y como consecuencia determinará bulbos más pequeños afectando el %COM. También aumentos de temperaturas en etapas de bulbificación puede afectar el estado sanitario de la planta, cuando existan condiciones predisponentes principalmente para *Peronospora destructor*.

Otro resultado de mayor importancia es la correlación positiva de la PA_veg principalmente con los cultivares de DC, con un rango de coeficientes de regresión de 0,13 a 0,19 (anexo 10). El círculo de correlaciones muestra una importante asociación positiva con las variedades Regia y H9. Estas dos variedades presentan un contenido de agua superior a las demás, por lo cual una precipitación adecuada durante la etapa vegetativa favorece la formación de bulbos grandes y aptos comercialmente.

En relación a las variedades de DI cultivadas en fechas tempranas se encuentra un comportamiento diferente. En el caso de Canarita se visualiza una correlación positiva con las temperaturas en etapa vegetativa. Las plantas de este cultivar presentan un desarrollo vegetativo vigoroso (Vicente et al., 2010). Por lo tanto, cuando es cultivado en su fecha óptima, las temperaturas son más altas comparado con las fechas tempranas y esto beneficia un mayor desarrollo de AF por parte de la planta. En cambio, Naqué tiene un comportamiento

contrario a las demás variedades, principalmente con Canarita que están correlacionadas negativamente. El comportamiento diferente de Naqué puede estar relacionado porque es la única cebolla roja en evaluación y podría tener un comportamiento diferente de los demás cultivares. En este caso, las temperaturas en etapa vegetativa tienen una incidencia desfavorable. Además la precipitación acumulada en etapa de bulbificación se correlacionó positivamente con este cultivar. Aumentos de temperaturas en etapa vegetativa, favorecen el desarrollo de AF, pero un desarrollo vegetativo vigoroso de Naqué provoca deficiencias en el cerrado de cuello.

a)



b)



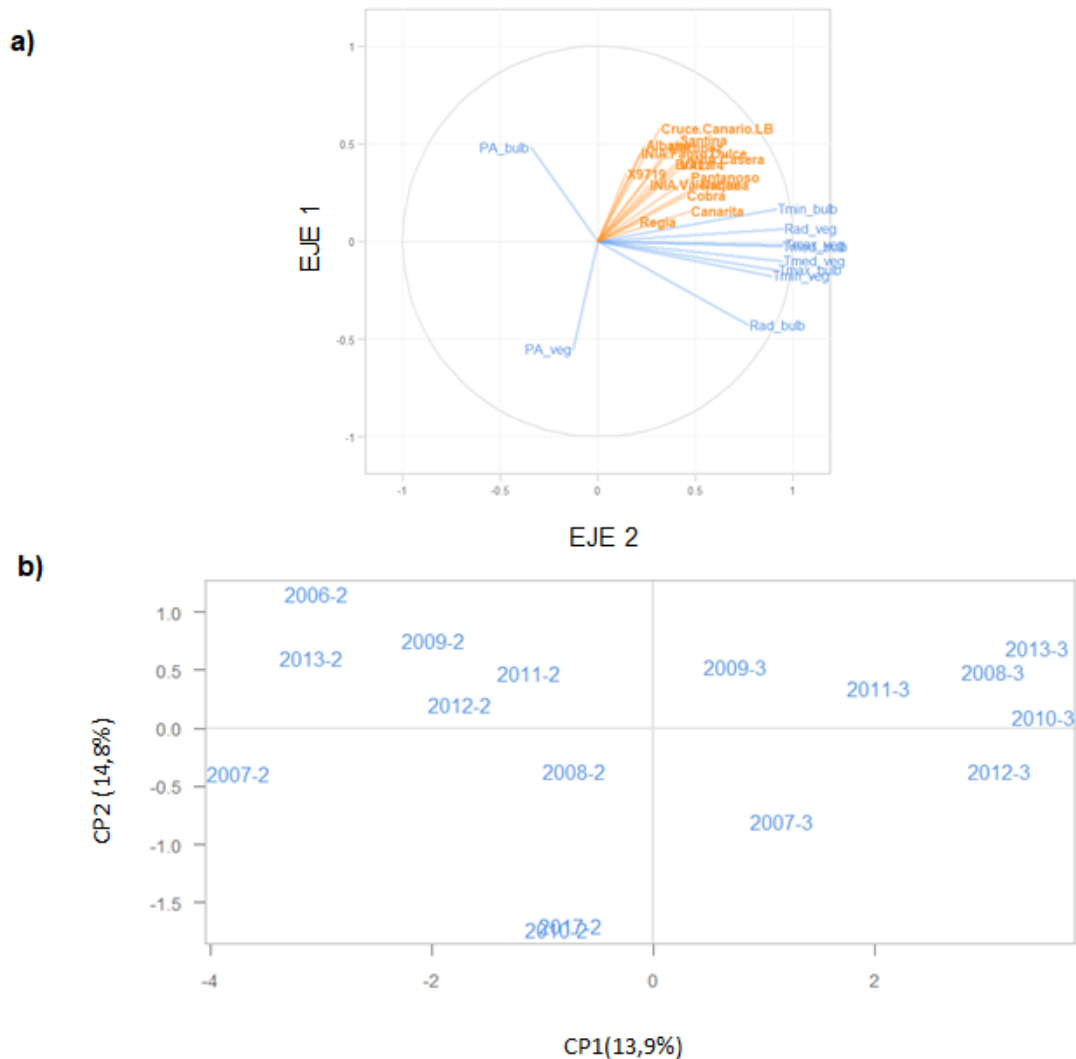
a) Círculo de correlaciones, b) Mapa de observaciones. La variabilidad es explicada por dos componentes principales (CP1 y CP2).

Figura 19. Análisis PLS regresión entre los genotipos de fecha temprana y covariables ambientales para la variable agronómica %COM

El mapa de observaciones confirma como mejor ambiente al 2017-1 seguido del ambiente 2018-1. Este resultado es diferente en relación a la variable PMBT porque el año 2017-1 sería el peor ambiente para un buen desarrollo de bulbo en fechas tempranas. En cambio los ambientes con menor puntuación son la mayoría que se presentaron como buenos para la variable PMBT. Este comportamiento explica por qué para los ambientes que presentaron menor rendimiento, cambia la conformación de la calidad de bulbos comerciales. Seguramente, el %COM está formado por bulbos de menor tamaño (diámetro 4 a 7 cm). Sin embargo, los ambientes que generan un menor %COM, son los de mejores rendimientos, debido a un mayor peso de descarte por tamaño.

En el caso del %COM en variedades semitardías y tardías la variabilidad de los dos componentes principales se representa en un 28,7%. Se encuentra una correlación negativa (figura 20), del %COM con PA_veg. (coef. regresión de -0,10 a -0,49). El cultivar más correlacionado fue Cruce Canario LB y el de menor correlación Regia. Al igual que en la variable agronómica PMBT, la correlación podría estar dada más por la ocurrencia de días nublados que por la precipitación por sí sola, provocando una menor radiación interceptada por parte del cultivo, menor IAF a inicio de bulbificación y la formación de bulbos de menor tamaño afectando el %COM. En este caso, al definirse como etapa vegetativa el intervalo de transplante hasta inicio de bulbificación, esta correlación también puede estar explicada por la ocurrencia de enfermedades principalmente de peronospora. La presencia de esta enfermedad provoca una reducción del AF y su duración (DAF), genera problemas en el volcado y cerrado de cuello de las plantas y brotación prematura afectando la conservación (Maeso y Carballo, 2005b). Los materiales vegetales semitardíos y tardíos están expuestos a mayores temperaturas que los genotipos tempranos. Una humedad relativa alta (superior al 95%), temperaturas diurnas menores a 23°C y de 4-24°C en la noche favorecen el desarrollo de esta enfermedad (Maeso, 2005a).

De todas las correlaciones positivas presentes, la de mayor magnitud es entre la PA_bulb. y %COM, con coeficientes de regresión que van desde 0,08 (Regia) y 0,45 (Cruce Canario LB). Si bien la PA_bulb. se correlacionó negativamente con la Rad._veg. y estaría generando un efecto indirecto sobre la radiación interceptada, la PA_bulb. tendría un efecto positivo sobre el %COM. Este resultado puede relacionarse con la complementariedad de las precipitaciones con el riego, principalmente en genotipos de fechas tardías donde el periodo de bulbificación sucede principalmente durante el verano y el riego puede no ser suficiente para el cultivo.



a) Círculo de correlaciones, b) Mapa de observaciones. La variabilidad es explicada por dos componentes principales (CP1 y CP2).

Figura 20. Análisis PLS regresión entre los genotipos de fechas semitardías-tardías y covariables ambientales para la variable agronómica %COM

El mapa de observaciones, al igual que para variedades tempranas, tiene comportamiento contrario comparado con el PMBT. En este caso, los mejores ambientes con un buen %COM serían los de fecha tardía en comparación con los semitardíos. Este resultado, puede explicarse por qué a pesar de un buen %COM que presentaron los genotipos semitardíos, hubieron variedades de DC (INIA Casera, INIA FAGRO Dulce y Regia) cultivadas en

estas fechas más tardías que afectaron el %COM total. Esos cultivares tienen un potencial de conservación bajo. Además la mayor influencia sobre la puntuación negativa del %COM en las fechas semitardías pudo verse afectada principalmente por la variedad Regia, que produce bulbos muy grandes siendo afectado el tamaño comercial.

5. CONCLUSIONES

Este trabajo logró centralizar información histórica del programa de mejoramiento de cebolla de la Facultad de Agronomía en una única base de datos. Del mismo se obtuvieron aportes de relevancia para un mejor entendimiento del desempeño de cuatro variables productivas de relevancia en el cultivo de cebolla, vinculados a su componente genético, ambiental, su interacción y/o el impacto de covariables ambientales en la expresión de su potencial.

Para las variables peso medio de bulbo total, peso medio de bulbo comercial y rendimiento comercial, el componente ambiental explicó más de la mitad de la variabilidad fenotípica total, demostrando la importancia del efecto año en la conformación de estas variables agronómicas. Por otro lado, para la variable porcentaje de comercial, fue la IGA la fuente que representó la mayor proporción, seguido por el efecto genotípico.

La estimación de heredabilidad en sentido amplio mostró bajos niveles para todas las variables, a excepción de un valor medio en porcentaje comercial. En particular, para rendimiento comercial y porcentaje comercial en los materiales vegetales semitardíos y tardíos, el efecto genotípico fue de mayor importancia en comparación a fechas tempranas, debido a la mayor proporción de materiales de origen nacional. Este resultado se vio reflejado en una mayor heredabilidad en sentido amplio para todas las variables.

La variedad Texas fue la más estable para las variables rendimiento comercial y peso medio de bulbo total en fechas tempranas. Sin embargo, Santana fue la variedad más estable para todas las variables agronómicas en fechas semitardías y tardías. Por otro lado, la variedad Regia presentó la mayor inestabilidad en todas las variables agronómicas evaluadas, diferenciándose marcadamente de los demás cultivares. Las variedades más estables no necesariamente fueron las de mejores resultados en las variables agronómicas, evidenciando la importancia de tomar en cuenta ambos factores al momento de la recomendación.

El uso de covariables ambientales como herramienta de análisis fue de gran utilidad para identificar factores meteorológicos que inciden en la expresión de variables agronómicas de interés. Entre los resultados más relevantes se destaca que para el peso medio de bulbo total en fecha de siembra temprana, la covariable ambiental que tuvo mayor asociación con su expresión fue la radiación solar incidente en la fase vegetativa, vinculado probablemente a su efecto positivo en la conformación del IAF. En fechas semitardías y tardías la precipitación se correlacionó negativamente en la etapa vegetativa y de forma

positiva en etapa de bulbificación.

En términos de porcentaje comercial, las variedades Texas, Naqué y Canarita mostraron un comportamiento diferencial a los demás cultivares en fechas tempranas. Estos resultados podrían estar explicados por la adaptación ambiental de Texas por su difusión a nivel mundial, un comportamiento diferente que puede presentar una variedad de cebolla roja como Naqué y en el caso de Canarita por ser una variedad de DI sembrada en fechas tempranas.

El análisis inicial de la base de datos, agrupando materiales semitardíos y tardíos indicó que los mismos deberían de ser analizados por separado en futuros análisis por presentar comportamientos significativamente diferentes para todas las variables evaluadas. Se evidencia una superioridad de los materiales semitardíos sobre los tardíos, destacándose su potencial para las condiciones productivas de la región Sur del Uruguay.

6. RESUMEN

En Uruguay la cebolla es la segunda hortaliza en cuanto al número de productores. Por su importancia, es clave el desarrollo de nuevos materiales con gran adaptabilidad y estabilidad frente a cambios en las condiciones ambientales. El objetivo de este trabajo fue analizar una serie de ensayos de evaluación de cultivares de cebolla realizados durante más de una década en Uruguay, evaluando la interacción genotipo por ambiente (IGA) e identificando las variables meteorológicas que mayor afectan a un grupo de variables productivas de interés. Para ello se trabajó con la base de datos del programa de mejoramiento del CRS, con información de 10 años para 54 cultivares. Las variables analizadas fueron: rendimiento comercial (RC), peso medio de bulbo total (PMBT), peso medio de bulbo comercial (PMBC) y porcentaje comercial (%COM), siendo los genotipos agrupados en siembra temprana y semitardía/tardía. Diferentes covariables ambientales utilizando información meteorológica fueron construidas separadas en fase vegetativa y de bulbificación. Modelos mixtos, análisis de componentes principales, modelos AMMI y regresiones PLS fueron utilizados para evaluar diferentes aspectos de la red de ensayos. El análisis de componentes de varianza mostró que el efecto ambiental explica la mayor proporción de la variabilidad en fechas tempranas (56% - 67%) y semitardías/tardías (44% - 58%) sobre el RC, PMBT y PMBT, evidenciando la importancia del efecto año. Sin embargo en %COM, en ambos grupos la IGA representó el mayor porcentaje (35%), seguido del efecto genotípico. Las heredabilidades fueron bajas para todas las variables, teniendo RC y %COM valores más altos en fechas semitardías/tardías (0,21 y 0,43) en comparación a tempranas (0,11 y 0,27), explicado principalmente por diferencias en la estructura genética de ambas poblaciones. Por otro lado, se lograron identificar materiales con mayor estabilidad y/o con mejor adaptación a determinados ambientes. Para PMBT en siembras tempranas, la radiación solar fue la covariable ambiental con mayor incidencia, mientras que en siembras semitardías/tardías, hubo un efecto negativo del nivel de precipitación en fase vegetativa y de manera positiva durante bulbificación. Finalmente, se evidenció un comportamiento diferenciado entre variedades semitardías y tardías, con un comportamiento superior en las semitardías para las variables evaluadas.

Palabras clave: Cebolla; Peso medio de bulbo total; Peso medio de bulbo comercial; Porcentaje comercial; Interacción genotipo por ambiente; Estabilidad; Covariables ambientales.

7. SUMMARY

In Uruguay, onion production ranks second in importance of vegetables in terms of the number of farmers. Due to its importance, the development of new materials with great adaptability and stability to deal with environmental conditions changes is key. The objective of this study was to analyze a series of onion yield trials performed for more than a decade in Uruguay, evaluating the genotype by environment interaction (GEI), and identifying the meteorological covariates that affect a group of trait of interest. The final database from the CRS breeding program, included information from 54 cultivars during 10 years. The variables analyzed were: commercial yield (RC), mean total bulb weight (PMBT), mean commercial bulb weight (PMBC) and commercial percentage (%COM), grouping the genotypes in early and mid-late/late sowing dates. Different environmental covariates using meteorological information were built for the vegetative and bulbification phase. Mixed models, principal component analysis, AMMI models, and PLS regressions were used to answer different questions of this study. The analysis of variance components showed that the environmental effect explains the greater proportion of the variability in early (56% - 67%) and mid-late/late planting dates (44% - 58%) on the RC, PMBT and PMBT, evidencing the importance of the year effect. However, for %COM, in both groups the GEI represented the highest percentage (35%), followed by the genotypic effect. Heritabilities were low for all variables, with RC and %COM having higher values in mid-late/late planting dates (0,21 and 0,43) compared to early (0,11 and 0,27), mainly explained by differences in the genetic structure of both groups. Additionally, it was possible to identify materials with greater stability and/or with better adaptation to specific environments. For PMBT in early planting dates, solar radiation was the environmental covariate with the highest incidence, while in mid-late/late, there was a negative effect of the level of precipitation in the vegetative phase and positive during bulbification. Finally, a different behavior was evidenced between mid-late and late planting dates varieties, with a higher performance in the mid-late for the four variables evaluated.

Keywords: Onion; Mean total bulb weight; Mean commercial bulb weight; Commercial percentage; Genotype by environment interaction; Stability; Environmental covariates.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Abadie, T.; Ceretta, S. 2001. Entendiendo la interacción genotipo x ambiente: avances y desafíos. In: Interacción Genotipo x Ambiente Avances y Aplicaciones para el Desarrollo de la Genética Vegetal (2001, Canelones). Coloquios. Montevideo, INIA. pp. 1-2.
2. Acosta, A.; Gaviola, J.; Galmarini, C. 1994. Manual de producción de semillas hortícolas: cebolla. Mendoza, INTA. 83 p.
3. Aldabe, L. 2000. Producción de hortalizas en Uruguay. Montevideo, Epsilon. 269 p.
4. Allard, R. W.; Bradshaw, A. D. 1964. Implications of Genotype-Environmental Interactions in Applied Plant Breeding. *Crop Science*. 4:503-508.
5. Arboleya, J. 2005. Manejo del cultivo. In: Arboleya, J. ed. Tecnología para la producción de cebolla. Montevideo, INIA. pp. 43-74 (Boletín de Divulgación no. 88).
6. Arias, A.; Peluffo, S. 2001. Crecimiento y rendimiento de tres cultivares de cebolla (*Allium cepa* L) de diferente ciclo en diferentes localidades y fechas de siembra. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 80 p.
7. Brewster, J. L. 1990. Physiology of crop growth and bulbing. In: Rabinowitch, H. D.; Brewster, J. L. eds. Onions and allied crops. Boca Raton, Florida, CRC. v.1, pp. 53-88.
8. _____. 1994. Onions and other vegetable alliums. Wallingford, CABI. 236 p. (Crop Production Science in Horticultural Series no. 3).
9. _____. 2008. Onions and other vegetable alliums. Wallingford, CABI. 448 p. (Crop Production Science in Horticultural Series no. 15).
10. Boschi, F. 2014. Estudio de características fenotípicas y análisis de distinción, homogeneidad y estabilidad en cultivares de cebolla (*Allium cepa* L.) en Uruguay. (en línea). Agrociencia (Uruguay).

18(2):61-71. Consultado 12 ago. 2021. Disponible en http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482014000200007

11. Brdar-Jokanovic, M.; Girek, Z.; Ugrinovic, M.; Sikora, V., Dalovic, I.; Zdravkovic, J. 2016. AMMI model in the analysis of genotype by environment interaction of conventionally and organically grown onion. (en línea). *Genetika*. 48 (3):1027-1038. Consultado 12 may. 2021. Disponible en <http://www.doiserbia.nb.rs/Article.aspx?ID=0534-00121603027B#.YUk3bLhKjIU>
12. Cabral, M.; Fernandes, J.; Moura da Rocha, M.; Oliveira de Paiva, W.; Henrique, G. 2008. Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos em cebola múltipla. *Revista Caatinga*. 22 (1):101-106.
13. Cabrera, M. C.; Astigarraga, L.; Borsani, O.; Camussi, G.; Caputi, P.; Carriquiry, M.; Chilibroste, P.; Ferrer, M.; Galván, G.; García-Préchac, F.; Grille, L.; Marino-Donangelo, C.; Panario, D., Saadoun, A.; Soca, P.; Picasso, V.; Vázquez, D.; Zaccari, F. 2018. Uruguay, a World Food Producer: toward a Sustainable Production from a Food and Nutritional Security Perspective. In: Clegg, M. T. coord. *Food and Nutrition Security in the Americas: a View from the Academies of Sciences*. Mexico City, IANAS (Inter-American Network of Academies of Sciences). pp. 532-563.
14. CAMM (Comisión Administradora del Mercado Modelo, UY). 2015. *Frutas y hortalizas del Uruguay: manual para la calidad, conservación y comercialización*. (en línea). Montevideo. 148 p. Consultado jul. 2020. Disponible en http://www.mercadomodelo.net/c/document_library/get_file?uuid=014afc3f-c822-4587-9be6-6729e1111be2&groupId=42766
15. _____. 2019. *Anuario estadístico 2019*. (en línea). Montevideo. 70 p. Consultado may. 2020. Disponible en http://www.mercadomodelo.net/c/document_library/get_file?uuid=2189c342-4460-4ba6-ad24-f81fa149fed1&groupId=42766

16. Carballo, S.; Schenzer, D.; Telesca, J.; Cabot, M. 2005. Curado. In: Carballo, S. ed. Poscosecha de cebolla en Uruguay. Montevideo, INIA. pp. 30-40 (Boletín de Divulgación no. 89).
17. Ceretta, S.; van Eeuwijk, F. A.; Castro, M.; Vilaró, D.; Abadie, T. 2000. Variabilidad en el rendimiento de cultivares de cebada cervecera en Uruguay. Montevideo, INIA. 20 p. (Serie Técnica no. 117).
18. Colnago, P. 2010. Evaluación de la respuesta a *Peronospora destructor* (Berk.) Casp. en el germoplasma local de cebolla. Tesis Mag. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 65 p.
19. Cubero, J. I.; Flores, F. 2003. Métodos estadísticos: para el estudio de la estabilidad varietal en ensayos agrícolas. (en línea). 2^a. ed. Sevilla, Consejería de Agricultura y Pesca. 197 p. Consultado may. 2021. Disponible en https://www.juntadeandalucia.es/sites/default/files/2020-03/1337165364Metodos_Estadisticos.pdf
20. De Mason, D. A. 1990. Morphology and anatomy of allium. In: Rabinowitch, H. D.; Brewster, J. L. eds. Onions and allied crops. Boca Raton, Florida, CRC. v.1, pp. 27-51.
21. Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; González, L. A.; Tablada, E. M.; Díaz, M. P.; Robledo, C. W.; Balzarini, M. G. 2005. Estadística para las ciencias agropecuarias. 6^a. ed. Córdoba, Brujas. 329 p.
22. Docampo, R. 2005. Manejo de suelos. In: Arboleya, J. ed. Tecnología para la producción de cebolla. Montevideo, INIA. pp. 93-126 (Boletín de Divulgación no. 88).
23. Dogliotti, S.; Colnago, P.; Galván, G.; Aldabe, L. 2016. Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo de los principales cultivos hortícolas: tomate (*Lycopersicon esculentum*), papa (*Solanum tuberosum*) y cebolla (*Allium cepa*). Montevideo, Facultad de Agronomía. 89 p.
24. _____.; 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 en Uruguay: proyecto FPTA-288. (en línea). Montevideo, Uruguay, INIA. 81 p. (FPTA no. 91). Consultado 5 set. 2021. Disponible en

<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/15695/1/Inia-Fpta-91-proyecto-288-Junio-2021.pdf>

25. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2019. FAOSTAT: datos sobre alimentación y agricultura. (en línea). Roma. s.p. Consultado jul. 2020. Disponible en <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>.
26. Frutos, E. 2011. Interacción genotipo-ambiente: GGE Biplot y modelos AMMI. Tesis MSc. en Análisis Avanzado de Datos Multivariantes. Salamanca, España. Universidad de Salamanca. 76 p.
27. Galmarini, C. R. 1997. Características botánicas y fisiológicas. In: Galmarini, C. R. ed. Manual del cultivo de la cebolla. Cuyo, INTA. Centro Regional Cuyo. pp. 18-22.
28. 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. (en línea). Agrociencia (Uruguay). 9(1-2):115-122. Consultado 10 may. 2021. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~agrociencia/index.php/directorio/article/view/285/215>
29. _____.; Porta, B.; Vidal, R.; Rivas, M.; Peluffo, S.; González, H.; García, S.; Bellenda, B. 2015. Valoración de semillas criollas y recursos genéticos nativos de Uruguay. Montevideo, Facultad de Agronomía. 8 p.
30. _____.; Arias, M.; Curbelo, N.; Zaccari, F; Arboleya, J. 2015. Mejora del curado a campo de la cebolla mediante sombreado con mallas plásticas. (en línea). In: Programa Nacional de Producción Hortícola. Cultivos de Cebolla (2015, Las Brujas, Canelones). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 24-34 (Actividades de Difusión no. 757). Consultado 20 may. 2020. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/10670/1/sad-757-p.-24-34.pdf>
31. _____. 2017. Manejo durante la cosecha y curado. (en línea). In: Jornada de Divulgación (2017, Las Brujas, Canelones). Actualización de tecnologías en el manejo del cultivo de cebolla. Trabajos presentados. Montevideo, INIA. s.p. Consultado 13 may.

2020. Disponible en

http://www.inia.uy/Documentos/P%C3%BAblicos/INIA%20Las%20Brujas/HORTICULTURA/Jornada_cebolla_28junio2017/Galv%C3%A1n_Proyecto_Poscosecha_Cebolla.pdf

32. Giménez, G.; González-Arcos, M.; Rodríguez, G.; Vicente, E.; Vilaró, F. 2013. Catálogo de cultivares hortícolas 2014. (en línea). Montevideo, Uruguay, INIA. 71 p. Consultado 12 ago. 2021. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4590/1/Catalogo-cultivares-hortícolas-2014.pdf>
33. González-Barrios, P.; Pérez, O.; Castro, M.; Ceretta, S.; Vilaró, D.; Gutiérrez, L. 2013. Identificación de limitantes a la expresión del potencial de rendimiento en girasol en Uruguay mediante GGE biplots y PLS regression. *In*: Encuentro Iberoamericano de Biometría (4^o), Reunión Científica del GAB (17^a., 2013, Mar del Plata). Trabajos presentados. La Plata, Buenos Aires, s.e. pp. 236-239
34. _____.; Castro, M.; Pérez, O.; Vilaró, D.; Gutiérrez, L. 2017. Genotype by environment interaction in sunflower (*Helianthus annuus* L.) to optimize trial network efficiency. (en línea). Spanish Journal of Agricultural Research. 15 (4):1-13. Consultado 15 may. 2021. Disponible en <https://doi.org/10.5424/sjar/2017154-11016>
35. González, H.; Zaccari, F.; Vilaró, F.; Giménez, G.; Suárez, C. 1999. Colecta, caracterización morfológica y evaluación agronómica preliminar de variedades locales de cebolla. *In*: Reunión Técnica Resultados Experimentales en Cebolla (1999, Las Brujas). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 13-17 (Actividades de Difusión no. 190).
36. _____.; _____.; Suárez, C. 2000. Conservación de bulbos de poblaciones locales de cebolla. *In*: Reunión de Divulgación (2000, Las Brujas, Canelones). Presentación de resultados experimentales en ajo y cebolla. Montevideo, INIA. pp. 6-11 (Actividades de Difusión no. 223).
37. Hirczak, A. 2012. Programa de certificación de semilla de cebolla del Instituto Nacional de Semilla (INASE). *In*: Jornada Técnica de Presentación de los Últimos Avances en el Cultivo de Cebolla

(2012, Las Brujas, Canelones). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 35-39 (Actividades de Difusión no. 676).

38. INIA. GRAS (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Unidad de Agro-clima y Sistema de Información, UY). 2021. Banco de datos agroclimático. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado feb. 2021. Disponible en <http://www.inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico>
39. Lescay, E. 2003. Interacción genotipo/ambiente y estabilidad del rendimiento de bulbos en cuatro variedades de cebolla (*Allium cepa* L.). (en línea). Información Técnica Económica Agraria. 99 (3):262-266. Consultado 12 may. 2021. Disponible en https://www.aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2003/99V-3/99V-3_04.pdf
40. _____; Moya, C. 2006. Influencia de los factores climáticos sobre algunas variables morfoagronómicas en la producción de bulbos de cebolla (*Allium cepa*, L.) en la región oriental de Cuba. Cultivos Tropicales. 27 (4):73-75.
41. _____; González, L. M. 2011. Identificación de las variables que pueden ser usadas como criterios de selección en programas de mejoramiento genético de cebolla (*Allium cepa* L.). (en línea). Centro Agrícola. 38 (3):23-28. Consultado jun. 2021. Disponible en http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V38-Numero_3/cag053111701.pdf
42. Maeso, D. 2005a. Enfermedades del cultivo de cebolla. In: Arboleya, J. ed. Tecnología para la producción de cebolla. Montevideo, INIA. pp. 151-178 (Boletín de Divulgación no.88).
43. _____; Carballo, S. 2005b. Manejo para calidad. In: Carballo, S. ed. Poscosecha de cebolla en Uruguay. Montevideo, INIA. pp. 7-12 (Boletín de Divulgación no. 89).
44. Malosetti, M.; Ribaut, J. M.; van Eeuwijk, F. A. 2013. The statistical analysis of multi-environment data: modeling genotype-by-environment interaction and its genetic basis. Frontiers in Physiologic. 4 (44):1-17.

45. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2019. Anuario estadístico agropecuario 2019. (en línea). Montevideo. 256 p. Consultado jul. 2020. Disponible en <https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2019/Anuario2019.pdf>
46. Mohanty, B. K.; Prusti, A. M. 2001. Performance of common onion varieties in kharif seasons. (en línea). Journal of Tropical Agriculture. 39:21-23. Consultado jun. 2021. Disponible en <http://jtropag.kau.in/index.php/ojs2/article/view/6/6>
47. Olivoto, T.; Dal' Col Lúcio, A. 2020. Supplementary Material for metan: an R package for multi-environment trial analysis. s.n.t. 124 p.
48. Peluffo, S.; Galván, G.; Reggio, A.; González, H. 2008. Ensayos de evaluación de cultivares de cebolla en el Centro Regional Sur (2007). In: Jornada Anual de Presentación de Resultados de Investigación en Cebolla y Ajo (2008, Las Brujas). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 14-20 (Actividades de Difusión no. 533).
49. _____.; _____.; _____.; _____. 2010. Ensayos de evaluación de cultivares de cebolla en el Centro Regional Sur (2009). In: Jornada Técnica de Presentación de Resultados de Investigación en Cebolla y Ajo (2010, Las Brujas, Canelones). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 3-9 (Actividades de Difusión no. 600)
50. _____.; Curbelo, N.; Costa, N.; González, H.; Galván, G. 2011. Ensayos de evaluación de cultivares de cebolla en el Centro Regional Sur (2010). In: Jornada de Divulgación (2011, Las Brujas, Canelones). Presentación de resultados de investigación en cebolla. Montevideo, INIA. pp. 1-7 (Actividades de Difusión no. 640).
51. _____.; _____.; González, H.; Galván, G. 2012. Ensayos de evaluación de cultivares de cebolla en el Centro Regional Sur (2011). In: Jornada Técnica de Presentación de los Últimos Avances en el Cultivo de Cebolla (2012, Las Brujas, Canelones). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 53-58 (Actividades de Difusión no. 676).

52. _____.; Curbelo, N.; González, H.; Galván, G. 2013. Ensayos de evaluación de cultivares de cebolla en el Centro Regional Sur. In: Jornada Técnica de Presentación de los Últimos Avances en el Cultivo de Cebolla (2013, Las Brujas, Canelones). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 33-42 (Actividades de Difusión no. 707).
53. Poehlman, J. M.; Allen, D. 2005. Mejoramiento genético de las cosechas. 2ª. ed. México, Limusa. 511 p.
54. Porta, 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. Licenciatura en Ciencias Biológicas. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Ciencias. 73 p.
55. Prieto, V. 2014. Análisis de la estructura de la covarianza para la interpretación de la interacción genotipo-ambiente con datos desbalanceados. Tesis Mag. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 64 p.
56. Scarlato, M. 2020. Análisis y jerarquización de factores determinantes de las brechas de rendimiento y calidad en los principales cultivos hortícolas en Uruguay. Montevideo, Facultad de Agronomía. s.p.
57. Torquato-Tabares, A.; Pascual-Reyes, I.A.; Barros-Milhomens, K.K.; Alves-Ferreira, T.; Rodrigues-do-Nascimento, I. 2017. Planting dates of *Allium cepa* L. hybrids en Gurupi, Tocantins, Brazil. (en línea). Revista Chapingo. Serie Horticultura. 23 (2):123-133. Consultado 12 may. 2021. Disponible en <https://revistas.chapingo.mx/horticultura/?section=articles&subsection=issues&numero=240&articulo=2385>
58. Trivedi, A. P.; Dhumal, K. N.; Lawande, K. E. 2006. Estimates of heritability, genetic advance yield and its components in onion (*Allium cepa* L.). Indian Journal of Genetics and Plant Breeding. 66 (1):59-60.
59. Van Eeuwijk, F. A.; Bustos-Korts, D. V.; Malosetti, M. 2016. What Should Students in Plant Breeding Know About the Statistical Aspects of

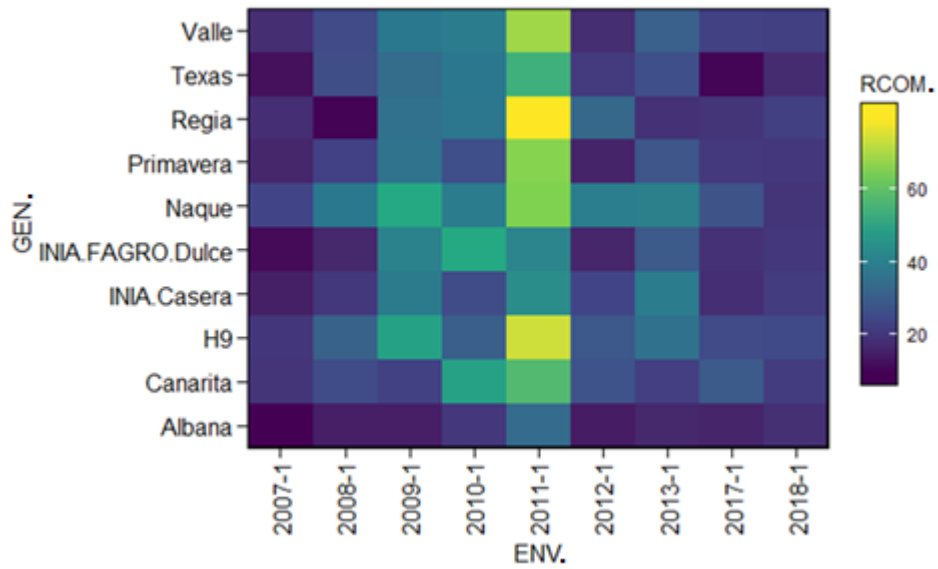
Genotype x Environment Interactions? *Crop Science*. 56:2119-2140.

60. Van Oijen, M.; Höglind, M. 2015. Toward a Bayesian procedure for using process-based models in plant breeding, with application to ideotype design. *Euphytica*. 207:627-643.
61. Vargas, M.; Crossa, J.; Ken, S.; Reynolds, M.; Ramirez, E.; Talbot, M. 1998. Interpreting Genotype x Environment interaction in Wheat by Partial Least Squares Regression. *Crop Science*. 38:679-689.
62. Vicente, E.; Carrega, G.; Manzoni, A.; Vilaró, F.; Rodríguez, G. 2007. El cultivar de cebolla INIA Casera. Montevideo, INIA. 13 p. (Boletín de Divulgación no. 92)
63. _____.; Vilaró, F.; Rodríguez, Galván, G.; González, H.; Spina, W.; Reggio, A.; Ibáñez, F.; Pereira, G.; González, M. 2010. Cultivares de cebollas obtenidas por el mejoramiento genético nacional. *Revista INIA*. no. 22:29-32.
64. Vilaró, F.; Vicente, E.; Pereyra, G.; Rodríguez. Cultivares y mejoramiento genético en cebolla. *In*: Arboleya, J. ed. *Tecnología para la producción de cebolla*. Montevideo, INIA. pp. 31-42 (Boletín de Divulgación no. 88).
65. Villalobos, F.; Ferreres, E. 2017. *Fitotecnia: principios de agronomía para una agricultura sostenible*. Madrid, Mundi-Prensa. 628 p.
66. Yan, W. K.; Kang, M. S.; Woods, S.; Cornelius, P. L. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of Genotype-by-Environment data. *Crop Science*. 47:643-655.
67. Zaccari, F.; Carballo, S. 2005. Almacenamiento. *In*: Carballo, S. ed. *Poscosecha de cebolla en Uruguay*. Montevideo, INIA. pp. 42-50 (Boletín de Divulgación no. 89).
68. Zipitría, J. 2015. Producción de semillas hortícolas en el sur del Uruguay: la experiencia de la cooperativa CALSESUR. (en línea). *In*: Seminario de los Recursos Fitogenéticos y las Políticas Públicas (2015, Minas). Trabajos presentados. Montevideo, s.e. s.p. Consultado 10 may. 2020. Disponible en http://www.cnfr.org.uy/uploads/files/Presentacin_Ing_Javier_Zipitra_CALSESUR.pdf

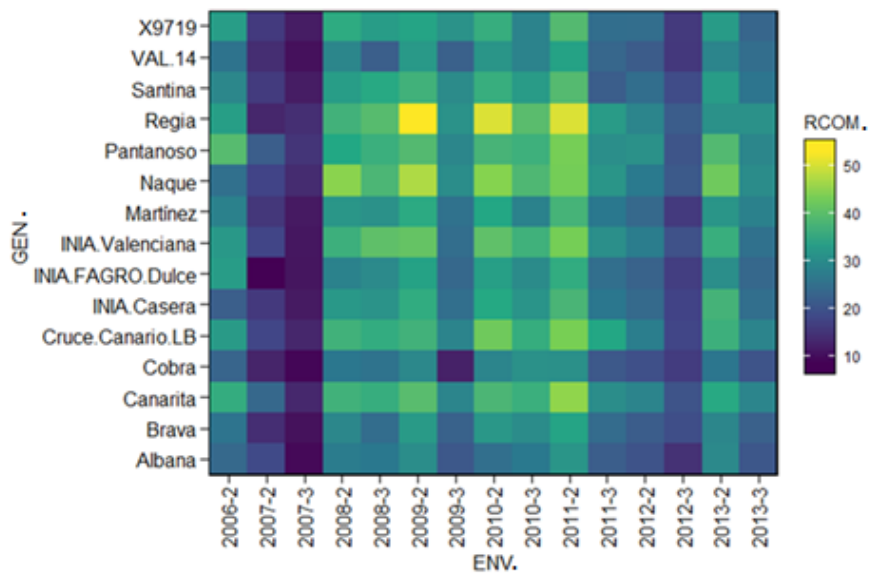
9. ANEXOS

1. Gráficos de RC según genotipo y ambiente (ge plot), en genotipos tempranos y semitardíos-tardíos

Tempranas

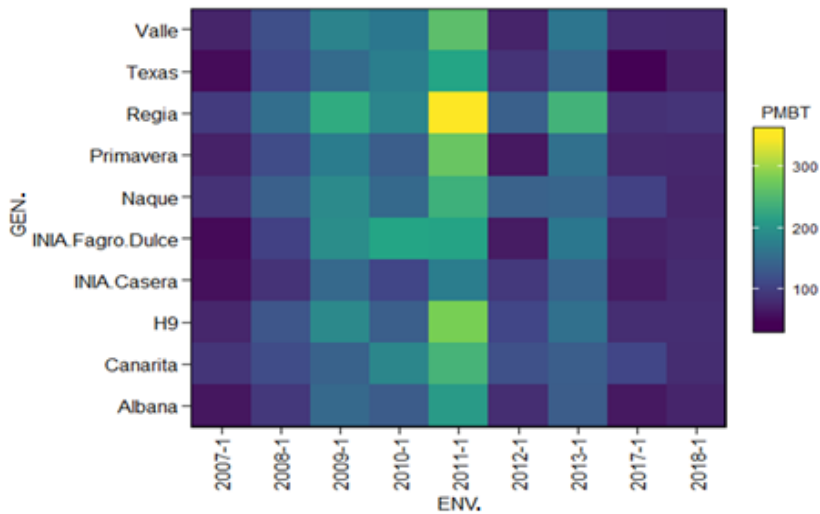


Semitardíos-tardíos

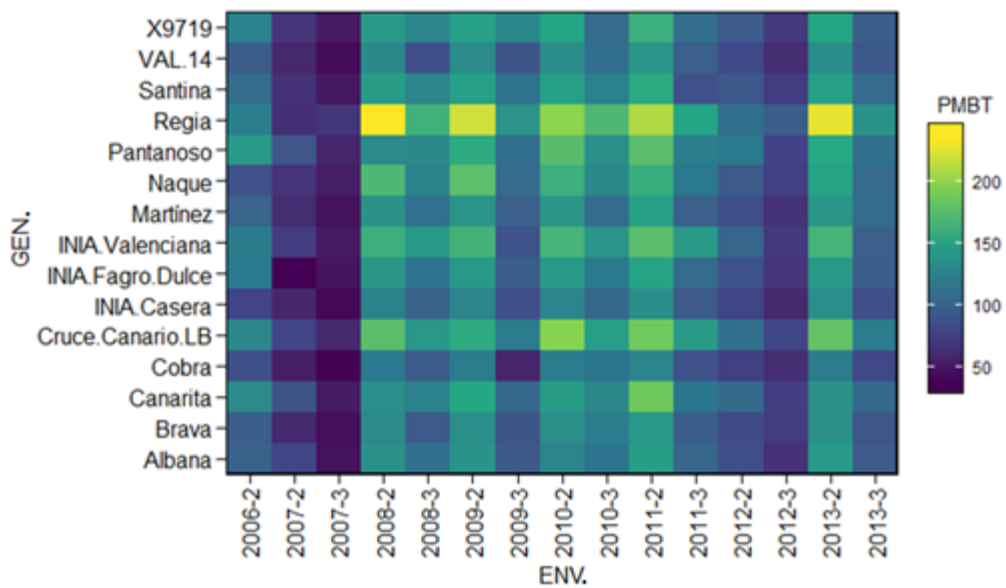


2. Gráficos de PMBT (similar PMBC) según genotipo y ambiente (ge plot)

Tempranas

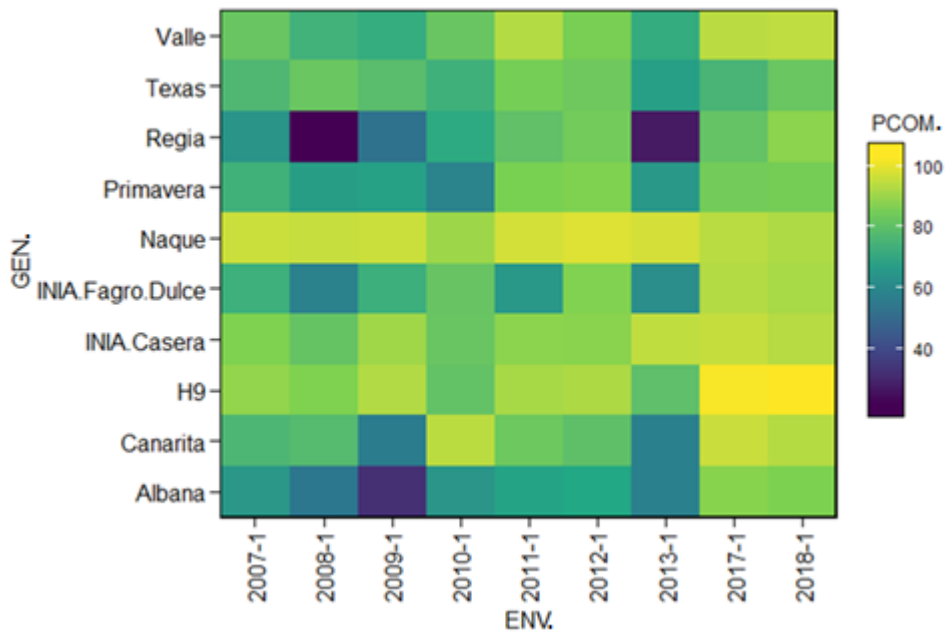


Semitardíos-tardíos

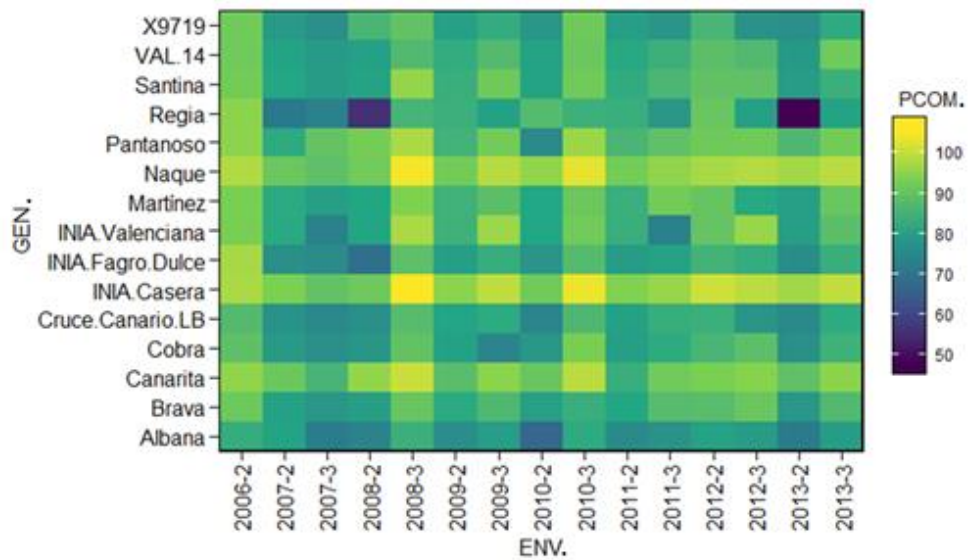


3. Gráficos de %COM según genotipo y ambiente (ge plot)

Tempranas



Semitardíos-tardíos



4. Resultados de análisis de varianza mediante la aplicación del modelo AMMI para la variable rendimiento comercial

Tempranas

Fuente	GL	SC	CME	F	Pr (>F)
Ambiente	8	53770,3	6721,3		
IGA	72	15590,0	216,5		
Genotipo	9	10422,4	1158,0	5,3	1,12e-06
Repetición	27				
Residuales	243				

Semitardíos-tardíos

Fuente	GL	SC	CME	F	Pr (>F)
Ambiente	14	55128,3	3937,7		
IGA	196	6098,6	31,1		
Genotipo	14	12082,2	863	27,7	0
Repetición	45				
Residuales	630	0	0		

5. Resultados de análisis de varianza mediante la aplicación del modelo AMMI para la variable PBMT (comportamiento similar a PMBC)

Tempranas

Fuente	GL	SC	CME	F	Pr (>F)
Ambiente	8	1094667,9	136833,5		
IGA	72	134427,8	1867,0		
Genotipo	9	115343,6	12815,9	6,9	8,5e-09
Repetición	27				
Residuales	243	0			

Semitardíos-tardíos

Fuente	GL	SC	CME	F	Pr (>F)
Ambiente	14	1003914,6	71708,2		
IGA	196	96313,3	491,4		
Genotipo	14	230130,5	16437,9	33,5	0
Repetición	45				
Residuales	630				

6. Resultados de análisis de varianza mediante la aplicación del modelo AMMI para la variable %COM

Tempranas

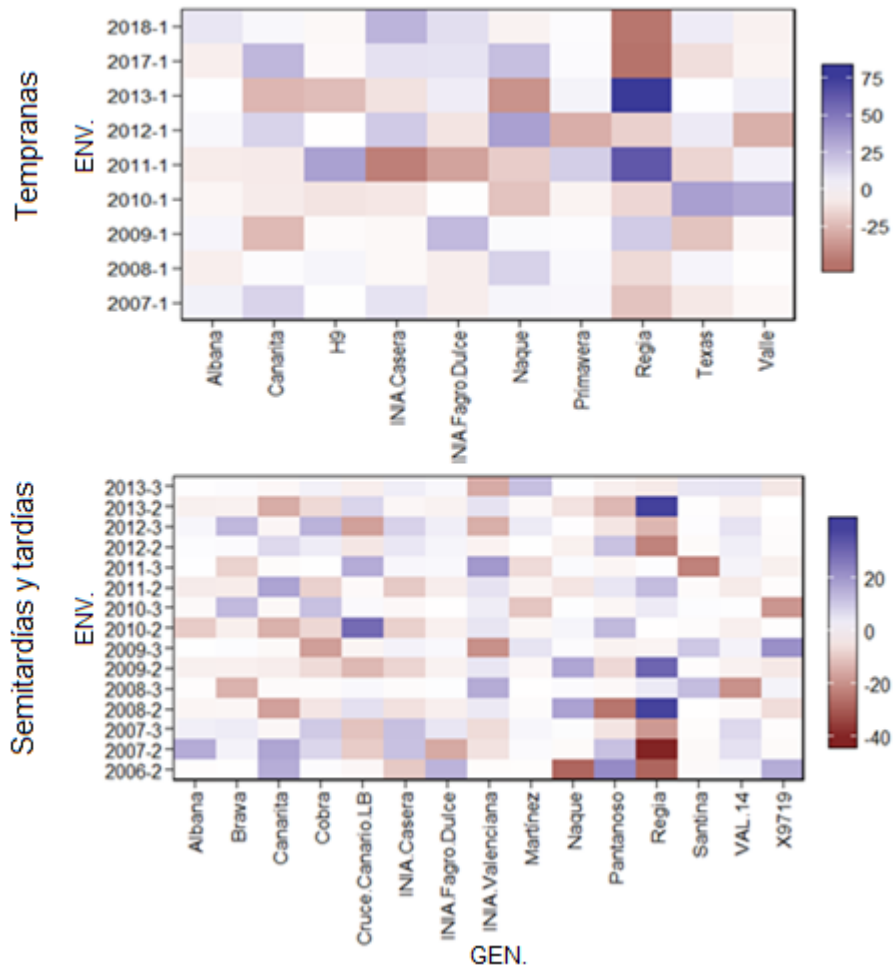
Fuente	GL	SC	CME	F	Pr (>F)
Ambiente	8	24481,0	3060,2		
IGA	72	27744,36	385,3		
Genotipo	9	35402,6	3933,6	10,2	2,5e-13
Repetición	27				
Residuales	243	0			

Semitardíos-tardíos

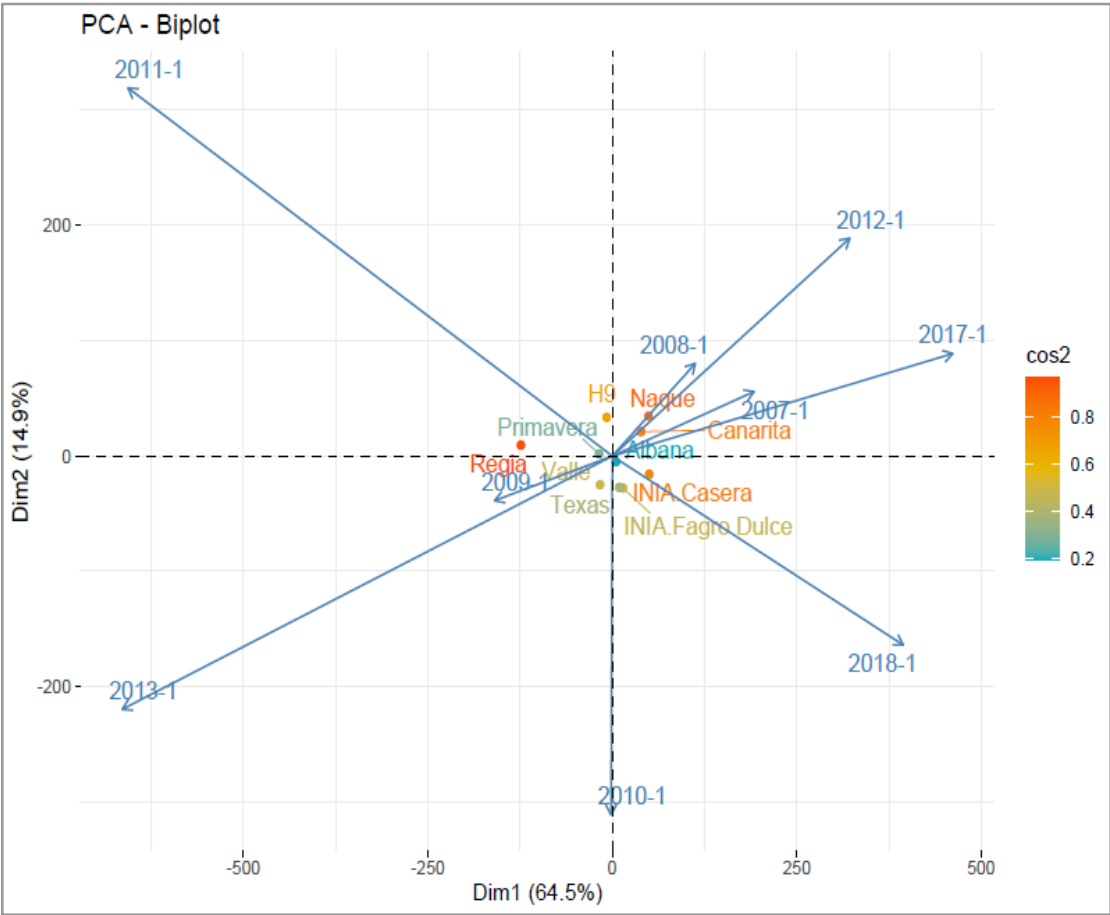
Fuente	GL	SC	CME	F	Pr (>F)
Ambiente	14	18787,1	1341,9		
IGA	196	12683,8	64,7		
Genotipo	14	28659,3	2047,1	31,63	0
Repetición	45				
Residuales	630	0,0	0,0		

7. Análisis de la IGA para la variable PMBC

Efecto de la IGA sobre variable peso medio de bulbo total (PMBC) para genotipos tempranos (superior) y semitardías y tardías (inferior)



Biplot de componentes principales para la variable peso medio de bulbo comercial (PMBC), para fechas tempranas.



8. Valores de las variables ambientales según ambiente

Tempranas

Ambiente	Rad._veg.	Tmed._veg.	Tmáx._veg.	Tmín._veg.	PA_veg.	Rad._bulb.	Tmed._bulb.	Tmáx._bulb.	Tmín._bulb.	PA_bulb.
2007-1	250,9	11,0	16,3	6,3	318,5	502,0	17,2	23,3	11,2	129,8
2008-1	257,5	12,3	17,6	7,6	197,6	561,2	19,5	26,4	13,0	15,2
2009-1	259,8	11,1	16,6	6,1	439,0	449,8	18,0	23,7	12,4	165,5
2010-1	300,9	12,3	17,7	7,2	433,0	560,3	18,5	25,2	11,9	22,4
2011-1	279,4	11,3	16,7	6,3	312,1	512,2	17,6	23,5	11,8	123,0
2012-1	251,1	11,9	17,3	7,3	537,5	490,9	18,9	24,7	13,6	231,3
2013-1	272,6	11,1	16,7	5,9	300,8	460,1	17,3	22,9	11,7	147,2
2017-1	248,6	13,7	18,7	9,2	557,0	502,9	17,0	23,1	11,1	95,0
2018-1	274,3	12,4	17,5	8,0	372,4	485,0	16,9	22,8	11,1	83,9
Promedio	266,1	11,9	17,2	7,1	385,3	502,7	17,9	24,0	12,0	112,6

Semitardíos-tardíos

Ambiente	Rad._veg.	Tmed._veg.	Tmáx._veg.	Tmín._veg.	PA_veg.	Rad._bulb.	Tmed._bulb.	Tmáx._bulb.	Tmín._bulb.	PA_bulb.
2006-2	304,4	12,0	18,3	6,8	153,2	504,7	17,4	23,7	11,8	158,5
2007-2	273,1	12,1	17,1	7,6	324,4	515,5	17,4	23,5	11,1	116,7
2007-3	432,0	16,3	21,7	10,8	355,2	578,6	20,6	27,5	14,0	55,7
2008-2	309,9	12,8	18,2	7,8	161,8	539,1	21,3	28,2	15,1	24,0
2008-3	435,6	16,9	22,8	11,3	69,5	588,1	22,2	29,1	15,9	18,3
2009-2	330,6	13,2	18,8	7,9	270,9	476,9	19,0	24,5	13,6	135,1
2009-3	422,2	15,6	21,2	10,2	304,1	513,2	20,6	26,3	15,0	109,9
2010-2	358,0	13,3	19,0	8,0	379,5	586,6	20,5	27,6	13,6	31,7
2010-3	473,4	16,3	22,4	10,4	150,0	598,4	23,6	30,7	17,1	34,0
2011-2	346,2	13,3	18,7	8,0	225,7	570,7	19,5	25,5	13,7	152,4
2011-3	456,6	16,2	22,2	10,5	205,5	606,9	21,1	27,3	15,1	97,4
2012-2	291,1	13,1	18,5	8,4	489,7	531,3	19,8	25,8	14,2	225,2
2012-3	449,8	17,7	23,2	12,8	503,9	603,8	22,4	28,7	16,2	143,5
2013-2	313,2	11,9	17,6	6,7	290,9	491,4	18,3	24,0	12,6	168,3
2013-3	453,0	16,4	21,9	10,7	310,8	609,0	24,0	30,8	17,5	178,0
2017-2	332,5	15,1	20,3	10,2	519,8	601,7	19,3	26,1	12,6	87,5
Prom. semitardíos	317,7	13,0	18,5	7,9	312,9	535,3	19,1	25,4	13,1	122,1
Prom. tardías	446,1	16,5	22,2	10,9	271,3	585,4	22,1	28,6	15,8	91,0
Prom. total	373,9	14,5	20,1	9,2	294,7	557,2	20,4	26,8	14,3	108,5

9. Valores de coeficiente de regresión para las covariables ambientales en PMBT

Tempranas

Cultivar	Rad._veg.	Tmed._veg.	Tmáx._veg.	Tmín._veg.	PA_veg.	Rad._bulb.	Tmed._bulb.	Tmáx._bulb.	Tmín._bulb.	PA_bulb.
Canarita	0,47	-0,06	-0,01	-0,20	-0,01	0,08	0,06	0,05	0,07	-0,08
INIA Fagro Dulce	0,55	-0,08	-0,02	-0,24	-0,02	0,09	0,07	0,05	0,08	-0,09
Naqué	0,28	-0,12	-0,09	-0,19	-0,06	0,02	0,05	0,03	0,06	-0,02
Texas	0,53	-0,12	-0,06	-0,27	-0,04	0,07	0,07	0,05	0,09	-0,07
Albana	0,40	-0,13	-0,09	-0,24	-0,06	0,04	0,06	0,04	0,07	-0,04
H9	0,29	-0,13	-0,10	-0,21	-0,07	0,02	0,05	0,03	0,06	-0,02
INIA Casera	0,29	-0,15	-0,12	-0,22	-0,08	0,01	0,05	0,03	0,07	-0,01
Regia	0,32	-0,16	-0,12	-0,24	-0,08	0,02	0,05	0,03	0,07	-0,02
Valle	0,41	-0,12	-0,07	-0,23	-0,05	0,05	0,06	0,04	0,07	-0,05
Primavera	0,34	-0,12	-0,09	-0,21	-0,06	0,03	0,05	0,03	0,07	-0,03

Semitardíos-tardíos

Cultivar	Rad._veg.	Tmed._veg.	Tmáx._veg.	Tmín._veg.	PA_veg.	Rad._bulb.	Tmed._bulb.	Tmáx._bulb.	Tmín._bulb.	PA_bulb.
9719	-0,06	-0,18	-0,14	-0,26	-0,28	-0,03	0,08	0,06	0,11	-0,13
Canarita	-0,06	-0,19	-0,15	-0,27	-0,29	-0,03	0,08	0,06	0,11	-0,13
INIA.Casera	-0,05	-0,18	-0,14	-0,26	-0,31	-0,02	0,10	0,08	0,14	-0,14
INIA Fagro Dulce	-0,04	-0,18	-0,13	-0,26	-0,31	-0,01	0,11	0,09	0,14	-0,15
Naqué	-0,04	-0,18	-0,13	-0,26	-0,32	-0,01	0,11	0,10	0,15	-0,15
Pantanosos	-0,06	-0,19	-0,15	-0,27	-0,30	-0,03	0,08	0,06	0,11	-0,13
Regia	-0,03	-0,18	-0,13	-0,26	-0,32	0,00	0,12	0,10	0,16	-0,16
Albana	-0,06	-0,20	-0,16	-0,29	-0,33	-0,03	0,10	0,08	0,13	-0,15
INIA.Valenciana	-0,05	-0,19	-0,14	-0,28	-0,33	-0,01	0,11	0,10	0,15	-0,16
Brava	-0,05	-0,18	-0,14	-0,26	-0,31	-0,02	0,10	0,09	0,14	-0,14
Santina	-0,05	-0,19	-0,14	-0,28	-0,33	-0,01	0,11	0,09	0,15	-0,16
Valcatorce	-0,05	-0,16	-0,13	-0,23	-0,26	-0,02	0,07	0,06	0,10	-0,12
Cruce Canario LB	-0,04	-0,19	-0,14	-0,28	-0,33	-0,01	0,12	0,10	0,15	-0,16
Cobra	-0,04	-0,19	-0,14	-0,27	-0,33	-0,01	0,12	0,10	0,16	-0,16
Martínez	-0,05	-0,18	-0,14	-0,27	-0,31	-0,02	0,10	0,08	0,14	-0,15

10. Valores de coeficiente de regresión para las covariables ambientales en %COM

Tempranas

Cultivar	Rad._veg.	Tmed._veg.	Tmáx._veg.	Tmín._veg.	PA_veg.	Rad._bulb.	Tmed._bulb.	Tmáx._bulb.	Tmín._bulb.	PA_bulb.
Canarita	0,08	0,21	0,20	0,22	0,10	0,15	-0,04	0,01	-0,11	-0,14
INIA Fagro Dulce	-0,04	0,18	0,16	0,21	0,19	-0,04	-0,17	-0,15	-0,14	0,03
Naqué	-0,09	-0,17	-0,17	-0,17	-0,06	-0,16	0,00	-0,05	0,08	0,16
Texas	0,03	-0,01	-0,01	-0,02	-0,04	0,04	0,04	0,05	0,02	-0,04
Albana	0,00	0,19	0,18	0,21	0,16	0,02	-0,13	-0,10	-0,13	-0,02
H9	-0,06	0,14	0,13	0,17	0,17	-0,08	-0,17	-0,17	-0,12	0,07
INIA Casera	-0,14	0,06	0,05	0,10	0,18	-0,21	-0,21	-0,25	-0,10	0,20
Regia	-0,04	0,12	0,11	0,14	0,14	-0,05	-0,13	-0,13	-0,10	0,05
Valle	-0,01	0,17	0,15	0,18	0,15	0,00	-0,13	-0,11	-0,12	0,00
Primavera	-0,07	0,07	0,06	0,09	0,13	-0,11	-0,14	-0,15	-0,08	0,10

Semitardíos-tardíos

Cultivar	Rad._veg.	Tmed._veg.	Tmáx._veg.	Tmín._veg.	PA_veg.	Rad._bulb.	Tmed._bulb.	Tmáx._bulb.	Tmín._bulb.	PA_bulb.
9719	0,00	0,05	0,14	0,04	-0,29	-0,12	0,00	-0,01	0,10	0,27
Canarita	0,05	0,08	0,13	0,07	-0,17	-0,02	0,06	0,05	0,11	0,13
INIA.Casera	0,04	0,10	0,22	0,08	-0,38	-0,12	0,04	0,02	0,17	0,33
INIA Fagro Dulce	0,00	0,07	0,18	0,05	-0,38	-0,15	0,01	-0,01	0,14	0,35
Naqué	0,05	0,10	0,18	0,08	-0,28	-0,07	0,06	0,04	0,15	0,23
Pantanosos	0,04	0,10	0,19	0,08	-0,30	-0,09	0,05	0,03	0,15	0,26
Regia	0,02	0,04	0,07	0,03	-0,10	-0,02	0,02	0,02	0,06	0,08
Albana	0,00	0,08	0,20	0,06	-0,42	-0,17	0,01	-0,02	0,15	0,38
INIA Valenciana	0,02	0,06	0,14	0,05	-0,25	-0,09	0,02	0,01	0,11	0,23
Brava	0,03	0,09	0,19	0,07	-0,35	-0,12	0,04	0,01	0,15	0,31
Santina	0,02	0,10	0,24	0,08	-0,45	-0,16	0,03	0,00	0,19	0,41
VAL.14	0,03	0,09	0,20	0,07	-0,35	-0,11	0,04	0,02	0,16	0,31
Cruce Canario LB	0,01	0,09	0,24	0,07	-0,49	-0,19	0,02	-0,01	0,18	0,45
Cobra	0,04	0,08	0,15	0,07	-0,23	-0,05	0,05	0,04	0,13	0,19
Martínez	0,02	0,09	0,22	0,07	-0,42	-0,15	0,03	0,00	0,17	0,38