



**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO

## TESIS DE MAESTRÍA

Respuesta de poblaciones locales de ajo (*Allium sativum* L.) de la Provincia de San Juan al efecto combinado de la densidad de plantación y la lámina de reposición de agua aplicada.

## MAESTRÍA EN HORTICULTURA

Nombre de la Tesista: Ing. Agr. Patricia Donoso

Nombre del Director: Ing. Agr. (M. Sc. Dr.) José A. Portela

Mendoza, 2024



**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

TESIS DE MAESTRÍA

Respuesta de poblaciones locales de ajo (*Allium sativum* L.) de la Provincia de San Juan al efecto combinado de la densidad de plantación y la lámina de reposición de agua aplicada.

MAESTRÍA EN HORTICULTURA

Nombre de la Tesista: Ing. Agr. Patricia Donoso

Nombre del Director: Ing. Agr. (M. Sc. Dr.) José A. Portela

Mendoza, 2024

## Agradecimientos

Gracias es una de mis palabras favoritas...y este es el momento más oportuno para usarla. Quiero agradecer de todo corazón a las siguientes instituciones y personas que hicieron posible este trabajo, mi crecimiento personal y profesional:

- ✓ Al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria por brindarme la posibilidad de realizar este posgrado a partir de la beca del Programa de Posgrado y Perfeccionamiento.
- ✓ A mi director de tesis José Portela por su compromiso, dedicación y enseñanzas durante todo este proyecto. Un referente en mi carrera profesional y dentro de la institución.
- ✓ A la Estación Experimental INTA San Juan, especialmente a personal de campo de Campo Anexo San Martín que me ayudaron y apoyaron durante todo el proceso de ensayo y mediciones.
- ✓ A los docentes de este posgrado y Comité Académico.
- ✓ A Juan José, mi compañero de vida, por su paciencia, comprensión y amor.
- ✓ A mis padres, Hilda y Ricardo, siempre presentes en cada momento de mi vida, con el consejo justo y cariño.
- ✓ A Naza y Fran, mis hijos que le dan sentido a todo.

## Índice

Índice de Tablas .....	10
Índice de Figuras.....	13
Resumen.....	14
Abstract.....	15
Antecedentes y aspectos generales sobre la relación entre el cultivo, lámina de reposición y densidad de plantación. Efecto sobre el rendimiento. ....	16
1.1.    Antecedentes del cultivo de ajo. ....	16
1.7.1. Objetivo General .....	28
1.7.2. Objetivos específicos.....	28
1.7.3. Hipótesis de trabajo .....	29
Respuestas de las poblaciones multiclonales de ajo blanco tempranos y tardíos en los ambientes propuestos.....	30
2.3. Resultados y Discusión.....	47
2.3.1 Agua aplicada .....	47
2.3.2. Correlación entre variables respuestas vinculadas al rendimiento y covariables de crecimiento de planta y desarrollo de bulbo. ....	48
2.3.3. Rendimiento y sus componentes: Peso medio de bulbo, diámetro medio de bulbo, proporción de bulbos comerciales.....	54
2.3.3.1. Peso medio del bulbo.....	55
2.3.3.2. Diámetro medio de bulbo y calibre.....	57
2.3.3.3. Proporción de bulbos comerciales.....	60
2.3.4. Rendimiento y calidad de los bulbos: proporción de bulbos normales, presencia de malformaciones.....	64
2.3.4.1. Proporción de bulbos normales.....	64
2.3.4.2. Ajos tipo martillo.....	65
2.3.4.3. Ajos tipo fofo, poco firmes.....	66
2.3.5. Aspectos de crecimiento vegetativo y desarrollo de la planta de ajo .....	68
2.3.5.1. Número de hojas verdes .....	69

2.3.5.3. Evolución de la biomasa aérea total en tres momentos.....	77
6. Eficiencia en el uso del agua.....	84
2.4. Conclusiones .....	86
2.5 Bibliografía citada .....	88

## Índice de Tablas

Tabla1.1. Clasificación actualizada de cultivares de ajo cultivadas en Argentina.	19
Tabla 1. 2: Rendimiento de cultivo de ajo tipo comercial Rosado (t. ha <sup>-1</sup> ) obtenido con distintas densidades de plantación (Nº de plantas. ha <sup>-1</sup> ) .....	26
Tabla 2.3. Distribución de las etapas ecofisiológica de ajo blanco según Kc y meses del año usados en este estudio. ....	33
Tabla:2.4. Descripción de los ambientes según lámina de reposición de riego y densidad de plantación. ....	35
Tabla 2.5. Características fisicoquímicas del suelo del lugar del ensayo. ....	35
Tabla 2.6. Resumen de evaluación de coeficiente de uniformidad (%) y presión lateral de riego durante una operación de riego .....	38
Tabla 2.7. Peso promedio bulbillos (Ppromb) e índice visual de dormición (IVD) de los bulbillos semillas por población multiclona.....	40
Tabla 2.8 Descripción de los calibres para ajo seco y limpio según Nomas IRAM/INTA 155002 .....	41
Tabla 2.9. Láminas de reposición entregadas por ambiente .....	47
Tabla 2.10. Coeficiente de correlación de Pearson entre variables dependientes y covariables .....	51
Tabla 2.11. Media del Peso medio de bulbo (g) ajustada por el modelo para cada población multiclonaes y cada ambiente. ....	56
Tabla 2.12. Media del Diámetro medio de bulbo(cm) ajustada por el modelo para cada población multiclonaes y cada ambiente .....	58

Tabla 2.13. Medias de los porcentajes de calibres ajustadas para cada población multiclonal y cada ambiente.....	59
Tabla 2.14 Media de Proporción de bulbos comerciales ajustada por el modelo para cada población multiclonal y ambiente.....	61
Tabla 2.16. Resumen de rendimiento y componentes para cada población multiclonal en cada ambiente. ....	63
Tabla 2.17. Proporción de bulbos normales para cada población multiclonal y cada ambiente.....	65
Tabla 2.18. Número de bulbos martillo registrado en cada población multiclonal y ambiente.....	66
Tabla 2.19. Número de bulbos fofos registrado en cada población multiclonal y ambiente.....	68
Tabla 2.20. Número de hojas verdes de las poblaciones multiclónicas a través de los días de crecimiento en cada ambiente. ....	73
Tabla 2.21. Altura de planta (cm) a través de los días de crecimiento para las cuatro poblaciones multiclónicas.....	75
Tabla 2.22. Altura de planta (cm) a través de los días de crecimiento para los seis ambientes evaluados. ....	75
Tabla 2.23. Peso seco total de vástago (g) a los 227 días ajustadas por población multiclonal y ambiente.....	78
Tabla 2.24. Peso seco total de vástago (g) a los 270 días ajustadas para poblaciones multiclónicas y ambientes. ....	79

Tabla 2.25. Peso seco total de planta (g) a los 318 días ajustadas para poblaciones multiclonales y ambientes. ....	80
Tabla 2.26. Eficiencia en el uso del agua (EUA) ( $\text{kg}\cdot\text{mm}^{-1}$ ) de las poblaciones multiclonales por ambiente.....	85

## Índice de Figuras

Figura 2.1 Ensayo multiambiental de ajo. ....	34
Figura 2. 2.Diseño experimental del ensayo multiambiental formado por seis ambientes y cuatro poblaciones multiclonales de ajo Blanco Temprano y Tardío.....	36
Figura 2.3. Evolución de las temperaturas diarias durante el ciclo del cultivo..	37
Figura 2.4 Relación entre el contenido de humedad antes de riego y la necesidad neta de riego acumulada (RCNN) por ambiente. ....	48
Figura 2.5: Diagrama de dispersión de los dos primeros factores generados por el análisis PLS con las variables dependientes.....	54
Figura 2.6. Residuos estandarizados de Pearson de número de bulbos fofos estimado para cada población multiclonal y cada ambiente. ....	67
Figura 2.7. Evolución del número de hoja verde (NHV) por población multiclonal en los ambientes estudiados.....	72
Figura 2.8 Evolución altura de planta (cm) por población multiclonal en los ambientes estudiados. ....	76
Figura 2.9. Evolución del peso seco de la lámina foliar (g) para los seis ambientes de las cuatro poblaciones multiclonal en estudio.....	81
Figura 2.10. Evolución del peso seco de bulbo (g) en tres momentos para las cuatro poblaciones multiclonales en los seis ambientes. ....	82
Figura 2.11. Tasa relativa de crecimiento del bulbo (TCR bulbo) (g/día) para dos periodos de evolución de biomasa de bulbo.....	84

## Resumen

A nivel nacional y local se ha reducido la superficie destinada al cultivo de ajo. Entre los motivos de esta reducción se destacan la situación de mega sequía que vive la región de Cuyo, el aumento de los costos operativos y la escases de mano de obra. Por lo tanto, es necesario intensificar la superficie cultivada y mejorar la eficiencia en el recurso hídrico. El uso de altas densidades y el riego presurizado pueden ser herramientas para este fin.

El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto combinado del número de plantas y de lámina de reposición de agua sobre la productividad de poblaciones multiclonales de ajo, tipos comerciales blanco temprano y blanco tardío, en la Provincia de San Juan.

El ensayo multiambiental se realizó en el Campo Anexo San Martín de INTA San Juan, durante los meses de febrero a noviembre de 2015, ubicado en el departamento de San Martín, provincia de San Juan.

Las poblaciones multiclonales tempranas se diferenciaron de las tardías logrando mejor desempeño en variables de rendimiento (cantidad y calidad). Se registró aumento de rendimiento total con detrimento en el rendimiento individual. A pesar de esto, no se comprobó una disminución de la proporción de bulbos comerciales. No fue tan evidente la influencia de la lámina de reposición sobre las variables respuestas. Aunque se observó que tanto el aumento como la disminución de la lámina de reposición de referencia (100%ETc) causó una leve pérdida de rendimiento. El aumento en la densidad de plantación incrementó la eficiencia en el uso de agua, aunque con sacrificio en el rendimiento individual, pero sin efecto grave en la proporción de bulbos comerciales.

**Palabras claves:** *Allium sativum* L, variedades, riego, rendimiento

## Abstract

The area devoted to garlic cultivation has been reduced, both at national and local levels, Among the reasons for this reduction are the mega-drought situation in the Cuyo region, the increase in operating costs and the shortage of labor as well. Therefore, it is necessary to intensify the cultivated area and improve the efficiency of water consumption The use of high densities and pressurized irrigation can be useful practice for this purpose.

The objective of this work was to study the combined effect of populations plants and the water replacement sheet on the productivity of multiclinal populations of garlic, early white and late white commercial types, in the Province of San Juan.

The multi-environmental trial was carried out from February to November 2015, at Campo Anexo San Martín of INTA San Juan, located in the department of San Martín, province of San Juan.

Early white multiclinal populations differed from the late ones, achieving better performance in response variables (quantity and quality). There was an increase in total yield with detriment in individual performance. Despite this, a significant decrease in the proportion of commercial bulbs was not verified. The influence of the replacement sheet on response variables was not so evident. Although it was observed that both the increase and decrease of the reference replacement sheet (100% ETc) caused a slight loss of performance. Increasing in planting density augmented water use efficiency, although, with sacrifice in the individual yield, however there where not, serious effect in the proportion of marketable bulbs.

**Keywords:** *Allium sativum* L, varieties, irrigation, yield

## Capítulo 1

### **Antecedentes y aspectos generales sobre la relación entre el cultivo, lámina de reposición y densidad de plantación. Efecto sobre el rendimiento.**

#### 1.1. Antecedentes del cultivo de ajo.

A nivel mundial la producción y comercialización de ajo ha logrado un aumento sostenido en volúmenes (FAO 2021, Cámara de Comercio Exterior de San Juan 2021 Oficina De Estudios y Políticas Agraria 2012). Entre las causas se menciona: un continuo incremento de la tasa de crecimiento de producción y comercialización de China, país catalogado como el mercado más grande del mundo (Ferratto y Mondino, 2008). Cambios en los hábitos alimenticios de los consumidores en pos de alimentos saludables. Es así que, estudios locales han demostrado las propiedades y aportes de esta hortaliza a la salud humana. (González y Galmarini,2013; Soto y Galmarini,2013 a; Soto y Galmarini, 2013 b). Entre ellos se resalta las propiedades funcionales del ajo que otorgan beneficios adicionales a la salud, como la prevención de enfermedades.

En la Argentina, el ajo es la hortaliza de mayor volumen de exportación. La región de Cuyo ha sido la zona de preferencia para el cultivo. Dentro de la región, la provincia de Mendoza aporta el 80% de la producción nacional, preferentemente ajos de tipo comercial morado y colorado, mientras que San Juan aporta el 15 % de ajos blancos y morados. (Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca, 2021; Instituto de Desarrollo Rural, 2018; Programa de Servicios Agrícolas Provinciales ,2012).

San Juan cuenta con una larga tradición en el cultivo, entre las fortalezas que sostiene esta producción se destacan las excelentes condiciones agroclimáticas que permiten obtener altos rendimientos y calidad. Sin embargo, en los últimos años la superficie cultivada ha disminuido drásticamente. Según el Instituto de Desarrollo Rural en la provincia de San Juan se ha destinado históricamente 1700 ha aproximadamente al ajo, siendo la campaña 2006-2007 la que presento un máximo histórico de 2800 ha (Giménez et al., 2007), mientras que durante la campaña 2014 - 2015 solo se registraron 700 ha. Los motivos de esta fuerte

reducción son variados, entre ellos se destacan como prioritarios, la situación de mega sequía que atraviesa la región de Cuyo y en especial la provincia (Crocco, 2021; Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 2021; Rojas, 2021; Rivera et al.; 2015) el aumento de los costos interno (mano de obra, agroquímicos, fertilizantes, combustible, etc.), y la disminución de la oferta de manos de obra; (Espíndola, 2020; Hernández et al., 2019, Battistella et al., 2014). Debido a todo esto, es fundamental generar estrategias que logren cambios en la tecnología del cultivo. Dichos cambios deberán seguir la premisa de hacer más eficiente el uso de los recursos naturales y económicos aumentando la producción por unidad de superficie (Lipinski y Gaviola, 2013; Portela, 2011). Conocer las interacciones que se establecen entre las poblaciones de ajo y los factores ambientales locales aportaran criterios tanto en la toma de decisiones sobre el manejo, como para cambios en la tecnología del cultivo

## 1.2. Diversidad de cultivares

El ajo es una especie, preferentemente, de propagación agámica, es decir que cada nuevo individuo se genera a partir de una porción vegetal y es igual a la planta madre que le da origen (Di Benedetto, 2004). A pesar de ello, existe una gran variabilidad dentro de la especie (Takagi, 1990) como respuesta a la influencia de los ambientes en los cuales se ha desarrollado, producto de la acción de dispersión del hombre durante miles de años (Burba ,2008; López Bellido et al., 2008; Portela, 2013<sup>a</sup>). Estas variantes van desde aspectos morfológicos (número de hojas, altura de planta, peso de bulbo, color de catáfilas de bulbo, presencia o no de inflorescencia, número de hojas fértiles) hasta aspectos fisiológicos como requerimiento de frío, duración de las etapas ecofisiológica, entre otros. Reconocer las diferencias, morfológicas, fisiológicas como ecofisiológica de las poblaciones multiclonales en estudio ha permitido hacer interpretaciones más acertadas de las respuestas de la planta y del cultivo a los efectos del ambiente.

Son muchos los esfuerzos realizados en agrupar la diversidad de cultivares de ajo a nivel mundial (Etoh, 1985; Maaß, y Klaas, 1995; Messiaen, 1996). Estos

trabajos tienen la finalidad de homologar criterios agronómicos, mejorar o clarificar pautas de comercialización y avanzar en el mejoramiento genético. En ellos, se han tomado como ejes ordenadores aspectos taxonómicos y morfológicos que, aunque son de sencilla implementación para algunos procesos como la comercialización, pueden quedar desactualizados en otras etapas de proceso productivo como en el manejo de cultivo o durante el almacenamiento.

En Argentina, Burba (1991) propuso agrupar a las cultivares de ajo que se producían en el país en función de la duración del periodo de dormición. Esta característica ecofisiológica relaciona al ciclo del cultivo con factores ambientales como la temperatura y fotoperiodo. Quedaron determinados cuatro grupos:

- ✓ Grupo Eco fisiológico (GE) I: abarca a ajos que se adaptan a ambientes tropicales. Las catáfilas son de color violeta, el ciclo del cultivo es corto y el periodo de dormición muy corto.
- ✓ GE II: ajos que se adaptan a ambientes subtropicales. Con catáfilas rosadas, el ciclo del cultivo es intermedio y el periodo de dormición corto.
- ✓ GE III: ajos que se adaptan a clima templado. Sus catáfilas son de color blanco, el ciclo del cultivo intermedio a largo y el periodo de dormición intermedio.
- ✓ GE IV: ajos que se adaptan a zonas de clima templado frío. Sus catáfilas son coloradas, la duración del cultivo es largo y el periodo de dormición es largo.

Dicha clasificación significó un avance importante porque considero al ambiente como “modelador” del desarrollo de la planta y por lo tanto del cultivo. Mejoro las posibilidades de uso y aplicación de dicha clasificación, por su valor agronómico. Sin embargo, en las últimas décadas en la Región de Cuyo se ha observado un aumento en la superficie cultivada de nuevos clones o poblaciones multiclonales de ajo. Ejemplo de esto fueron los ajos tipo “blancos tempranos” de origen asiáticos cuyas características ecofisiológicas no coincidían con aquellas descritas en los grupos propuestos hasta entonces por Burba, (1991). Por lo tanto, quedaron fuera de la agrupación antes mencionada.

Portela (2013 a) afirmó que no es suficiente utilizar como único criterio de clasificación, los requerimientos termo-fotoperiódicos que determinan la duración del periodo de dormición. Sino que, además es fundamental considerar los requerimientos térmicos durante el crecimiento de la planta, ya que esta variable influye sobre la acumulación de biomasa y por lo tanto sobre el rendimiento. Este aspecto amplía la clasificación original introduciendo subgrupos dentro de los grupos ecofisiológico existente donde los nuevos clones encuentran lugar (Tabla1.1).

Tabla1.1. Clasificación actualizada de cultivares de ajo cultivadas en Argentina.

Adaptación climática	Grupos ecofisiológico (GE)	Subgrupo ecofisiológico	Época de crecimiento vegetativo	Duración del ciclo	Duración de la dormición	Variedades
Ambiente tropical	GE I		Estación seca	Corta	Muy corta	
Ambiente subtropical	GE II		Otoño-invierno	Intermedia	Corta	
Ambiente templado a templado frío	GE III	Entrega temprana	Otoño –invierno	Larga	Intermedia	Ajo blanco temprano
		Entrega tardía	Otoño - fin de invierno			Ajo blanco tardío
		Entrega extralarga	Primavera - verano fríos	Muy larga por inviernos rigurosos		
	GE IV	Entrega extra temprana	Principios de primavera	Larga	Larga	
		Entrega temprana	Primavera			
		Entrega tardía	Primavera			

Fuente: Portela, 2013

### 1.3. Ajo blanco, poblaciones tardías y tempranas

En la provincia de San Juan tradicionalmente se han cultivado ajos tipo comercial blanco, aquí llamados blancos tardíos. Pertenecen a la variedad botánica Sativum, su lugar de adaptación fue la Cuenca del Mediterráneo (Burba, 2008, Portela, 2013<sup>a</sup>). La etapa de crecimiento vegetativo se produce durante el otoño e invierno, teniendo un rápido desarrollo (i.e. formación de bulbo) en la primavera y una etapa de senescencia más prolongada que los ajos blanco temprano.

Se caracterizan por desarrollar plantas de porte medio, de bulbo mediano a grande, formado por bulbillos o “dientes” de tamaño mediano a grande y de rendimiento medio a altos en algunas cultivares monoclonales (Burba, 2013). No emite escapo floral en Argentina. Tienen una buena conservación, característica que relaciona el periodo de dormición y la firmeza del bulbo (Lanzavechia et al., 2013, Lanzavechia y Burba ,2015) por lo tanto, ofrecen posibilidades para el traslado a largas distancias y un periodo de almacenamiento más largo. Estas características han brindado al sector ajero sanjuanino mejores posibilidades de venta y comercialización.

Por otro lado, en la región de Cuyo ha crecido la aceptación y dispersión de los ajos blancos temprano (Instituto de Desarrollo Rural ,2021). Algunas de las causas de este incremento están relacionadas a los altos rendimientos y entrega temprana de estas cultivares en relación con los ajos de origen mediterráneo cultivados habitualmente en la región. Los ajos blancos tempranos, pertenece al grupo Pekinense (Portela, 2013<sup>a</sup>). Su zona de adaptación ambiental se encuentra en la región de Asia Central, principalmente China (Burba, 2008; Portela, 2013). Se han adaptado a climas templados, de invierno poco riguroso. El nivel máximo de acumulación de biomasa áreas se alcanza a comienzo de primavera. La época de senescencia es temprana y corta, debido a la baja tolerancia a las temperaturas cálidas de la primavera verano.

Estas cultivares son vigorosas, generalmente de grandes bulbos formados por numerosos bulbillos de buen tamaño, por lo tanto, de altos rendimientos. (Burba 2008; Portela, 2013<sup>a</sup>). Además, algunas cultivares presentan aptitud para emitir escapo floral completo siempre y otras emiten escapo floral incompleto o carecen de este (mayor variabilidad ambiental). En todos los casos la conservación pos cosecha es de corta duración. La brotación de los bulbillos puede ser anticipada debido, entre otros motivos, a que la relación entre el balance hormonal de los promotores e inhibidores del crecimiento y condiciones ambientales son propicias para comenzar un nuevo ciclo. (Stahlschmidt y Cavagnaro, 1997).

Estas particularidades han hecho que las cultivares blancas tempranas se conviertan en herramienta para escapar a la época de mayor demanda de agua en esta región. Además, también permiten “desocupar” temprano el suelo para la preparación de los cultivos estivales.

#### 1.4. Ciclo del cultivo. Etapas ecofisiológicas.

Es conocida la estrecha relación que existe entre los factores ambientales (temperatura y fotoperiodo) y el ciclo del ajo (Takagi, 1990; Portela, 1996; Stahlschmidt y Cavagnaro, 1997; Portela, 2003). Estos factores limitan o favorece el crecimiento y desarrollo del cultivo y desde un aspecto más agronómico, determinan el rendimiento.

El estudio de la influencia del ambiente sobre el ciclo del ajo en relación con el tipo de cultivar ha permitido diferenciar 5 etapas ecofisiológica:

Etapa de brotación: inicia cuando el bulbillo o “diente” comienza a superar el estado de dormición, resultado del balance entre compuesto hormonales. Aquí las sustancias promotoras estimulan el crecimiento de raicillas preformadas y de manera simultánea la emergencia de la hoja de brotación. Según varios autores (Portela, 2013; Stahlschmidt y Cavagnaro, 1997; Takagi, 1990) la temperatura y la disponibilidad de agua controlan esta etapa. El efecto de la temperatura se registra durante los periodos de dormición y brotación del bulbo.

Es bien conocido que temperaturas entre 15°C a 18°C, durante el almacenamiento, logra una brotación homogénea y rápida de los bulbillos de ajo (Burba, 2003; Portela, 2013). En ensayos realizados con ecotipos asiáticos se comprobó aumento en los niveles de auxinas, citocininas y giberelinas, cuando las temperaturas de almacenamiento estuvieron en el rango de los 0 °C a 5 °C. Por otro lado, se ha observado que bajas temperaturas (entre 5 °C a 10 °C) en esta etapa, provocaron acumulación de citocininas (Stahlschmidt y Cavagnaro; 1997). La temperatura de almacenamiento influye sobre la actividad hormonal en el bulbo, preparándolo para reiniciar un nuevo ciclo de vida.

En cuanto a la disponibilidad de agua son varios los autores (Burba, 2003; Lipinski, 2015,) que postulan que el suelo debe mantenerse con contenidos de humedad cercanos a capacidad de campo y que el riego luego de la plantación es fundamental para lograr una rápida expansión de la hoja de brotación, los primordios foliares y las raicillas preformadas.

Solo a los fines prácticos, se considera que esta etapa ha concluido cuando se visualizan sobre la superficie del suelo dos hojas.

Etapa de crecimiento vegetativo inicial: este periodo se caracteriza por un lento crecimiento de hojas preformadas en el bulbillo madre y constante crecimiento de las raíces en el suelo (por la expansión de células preformadas en los primordios foliares del bulbillo). Continúa la movilización de reservas desde el bulbillo madre. Las bajas temperaturas del invierno y el fotoperiodo influyen en el ritmo y duración de este periodo. Aunque se ha observado que plantaciones tardías o temperaturas bajas y constante pueden adelantar el fin de esta etapa.

Lipinski y Gaviola (2009, 2011) estudiaron el efecto de déficit controlado de riego (DCR) en diferentes etapas fisiológicas en cultivares (cv) de ajo castaño, colorado, blanco y violeta. Esta práctica, tiene la finalidad de aumentar la eficiencia en el uso del agua disminuyendo el aporte de agua aquellos riegos que tengan poco impacto en la producción. Los autores encontraron que la respuesta al DCR, medida en términos de variabilidad del rendimiento, dependía de la cultivar. Es decir, de las particularidades que caracteriza el crecimiento y desarrollo de cada una de ellas. Es así como, en las cv castaño y colorado esta etapa fue la más sensibles a la falta de agua, registrando la mayor merma en el rendimiento y tamaño medio del budo. Además, si bien las diferencias no fueron estadísticamente significativas, se notó una distribución del rendimiento hacia los calibres de menor porte (calibre 3 y 4). Aunque en ensayos realizados en ajos violetas y blancos, solo los ajos tipo comercial violeta registraron pérdida en el rendimiento cuando la disminución de agua se realizó en la etapa de crecimiento inicial vegetativo.

Por otro lado, Portela (1996) mencionó que la pérdida de rendimiento causado por el déficit de algún recurso (agua y/ o nutrientes) deberá ser más notorio cuanto mayor sea su demanda. Es decir, en etapas más avanzadas del cultivo.

Se considera que esta etapa ha concluido cuando la planta tiene entre 7 a 8 hojas en ajos blancos tempranos y 6 a 7 hojas verdes en ajos blancos tardíos.

Etapa de rápido crecimiento vegetativo: se describe a este periodo como de máximo crecimiento aéreo. Se observa aumento rápido del número de hojas expandidas, la altura de la planta y continúa el crecimiento radicular. De manera similar a la etapa anterior, la temperatura media del día influye sobre la velocidad de crecimiento, mientras que el largo del día determina la duración de este

período. Durante esta corta fase las yemas axilares de las hojas reciben un estímulo que permitirá posteriormente la formación de las hojas de reservas y comienzo de la bulbificación. (Portela, 2013<sup>a</sup>)

Entre estos dos eventos (inducción de las yemas laterales y formación del bulbo) ocurre un lapso de alta sensibilidad a los estímulos del ambiente. Es así como todos aquellos que promuevan el crecimiento vegetativo (como excesos en la disponibilidad de agua, baja densidad de plantación, entre otros) causarán que estas yemas axilares generen nuevas hojas (brotes laterales) que posteriormente provocarán deformaciones en el bulbo e inconvenientes en la poscosecha (disminución de la conservación del bulbo, pérdida de calidad) (Portela, 1996).

Es conocido que el llenado del bulbo está directamente relacionado con la capacidad fotosintética de la planta, es decir que momentos de escasez de agua en este periodo que limitan la formación y expansión de hojas y altura de la planta, reducen el área foliar por lo tanto afectan el rendimiento (Portela, 2013<sup>a</sup>; Lipinski y Gaviola, 2013).

Con fines prácticos se considera que esta etapa está superada cuando la planta tiene entre 8 a 9 hojas verdes en ajos blancos tardíos y 9 a 11 hojas verdes en ajos blancos temprano.

Etapa de rápido crecimiento del bulbo: esta etapa comienza con la transición de las yemas axilares hacia la formación de hoja de reserva. A partir de este momento ya no habrá crecimiento aéreo (formación de hojas y altura de planta) y el crecimiento radicular será escaso o nulo. La planta alcanza su nivel máximo de área foliar, máxima demanda agua y nutrientes. (Portela, 2013<sup>a</sup>) En las cultivares que no emiten escapo floral, el principal destino de todos los fotoasimilados y sustancias de reservas es el nuevo bulbo en formación. En las cultivares que si presenten floración, como podría ser los ajos blanco temprano con vara floral, existe competencia entre el bulbo y la inflorescencia por los asimilados producidos por la fotosíntesis. Aunque las condiciones ambientales de la primavera en zonas templadas (temperaturas mínimas en aumento y fotoperiodo largos) favorecen el “llenado” del bulbo antes que la floración. (Stahlschmidt y Cavagnaro, 1997).

Conocer los procesos que se generan a partir de la influencia del ambiente sobre el cultivo, que dan como respuesta variaciones en la productividad, permite tomar decisiones agronómicas criteriosas. Un ejemplo de esto es la planificación del riego. Con el fin optimizar el uso del agua en zonas de clima semi desértica, Lipinski y Gaviola (2009, 2011) estudiaron las respuestas que causaba el déficit controlado de riego (DCR) en el ajo. Aquí los autores observaron que en la cv Nieve (GE III) la mayor pérdida de rendimiento se registra cuando el DCR se realiza en la etapa de rápido llenado de bulbo. Fabeiro Cortés et al. (2003), registran resultados similares, aunque no especifican el tipo de ajo con el que trabajan. Posiblemente la falta de agua compromete la translocación de fotoasimilados desde las hojas hacia el bulbo, acelera la senescencia de las hojas acortando este periodo.

Además, estos autores mencionan que la eficiencia en el uso del agua siempre es mayor cuando el déficit hídrico es durante esta etapa cortando este periodo.

Etapa de crecimiento final del bulbo: se considera al periodo comprendido entre inicio de senescencia hasta la muerte de la parte aérea de la planta, generalmente esta etapa no se concreta en su totalidad a campo, debido a que el momento óptimo de cosecha es antes de la “entrega” total de la planta. Esta etapa también es regulada por las temperaturas mínimas diarias, el aumento de las temperaturas mínimas acelera este proceso

### 1.5. Rendimiento potencial

En el cultivo de ajo el rendimiento potencial está determinado por dos factores: el tamaño del bulbillo que se utiliza como semilla y el número de plantas por superficie. (Portela, 2013<sup>a</sup>). Ambos factores son directamente proporcionales al rendimiento, es decir el aumento de alguno de ellos o de ambos aumentará el rendimiento. Además, son factores que, con prácticas de bajo costo, como es la calibración de los bulbillos por peso antes de la plantación y/o el manejo de la densidad de plantación, pueden implementarse a campo con facilidad. Por este motivo, son varios los autores que han estudiado a estos factores (Saluzzo, 1997; Portela, 1999; Guiñazú et al., 2003).

En cuanto al tamaño de la semilla, Saluzzo (1997) menciona que existe una relacional lineal entre el peso del bulbillo “semilla” y el peso final del bulbo. Guiñazú et al. (2003) señalaron la importancia de la calibración de bulbillos de tamaño mediano a grande y su impacto positivo en el rendimiento. Estos autores afirmaron que bulbillos grandes alcanzan mayor biomasa y área foliar durante el crecimiento vegetativo. Esto se traduce en mayor cantidad de fotoasimilados para el “llenado” del bulbo. Aunque también es importante la distribución o partición de esos fotoasimilados hacia el bulbo, característica que depende de la cultivar que se trate. Portela (1999) estudio el efecto sobre el rendimiento, de la combinación de dos densidades de plantación con distintos tamaños de bulbillo concluyendo que el aumento del rendimiento se relacionó con la combinación de alta densidad (20 plantas .m<sup>-1</sup>) y bulbillos grandes (8 g), en ajos “blancos”.

Ahora bien, en cuanto a la densidad de plantación, en la Región de Cuyo es común el uso de densidades bajas, entre 20 a 30 plantas.m<sup>-2</sup>, aun con la implementación de tecnologías como riego por goteo que facilita la distribución de agua y nutrientes de manera homogénea en el cultivo. Posiblemente esta situación se dé por el inadecuado ajuste en la oferta de agua y nutrientes en el caso de implementar alta densidad o la falta de mecanización a nivel local adecuada.

La planta de ajo tiene una estructura estrecha, debido a sus hojas de láminas planas y pseudotallo erecto, presenta un sistema radicular en cabellera que concentra el mayor volumen de raíces en los primeros 30 cm de suelo y hasta 45 cm de manera lateral. (Burba, 2003; Portela, 2003 a). Además, durante la época de crecimiento, aquellos bulbillos que quedan unidos al bulbo “madre” brotan, formando una mata. Estas características alientan la idea de la implementación de altas densidades en el cultivo (Portela, 2013)

Aljaro y Escaff (1976), en ensayo realizado en ajo tipo rosado, establecen que al aumentar la densidad de plantación aumenta el rendimiento total (Tabla 1.2). Aunque disminuye drásticamente la proporción de bulbos comerciales. Es decir, se reducen la proporción de aquellos bulbos que tiene calibres óptimos para la comercialización y aumentan los bulbos de menor tamaño que son considerados descarte por el mercado. Los autores mencionan que con densidades de hasta 666.000 plantas. ha<sup>-1</sup> mejora la productividad (peso total cosechado y calibre).

Tabla 1. 2: Rendimiento de cultivo de ajo tipo comercial Rosado (t. ha<sup>-1</sup>) obtenido con distintas densidades de plantación (N° de plantas. ha<sup>-1</sup>)

	Densidad de plantación (N° de plantas.ha <sup>-1</sup> )			
	500.000	666.000	1.000.000	1.333.000
Rendimiento Total (t.ha <sup>-1</sup> )	7,4	7,9	9,5	10,9
Rendimiento Comercial (t.ha <sup>-1</sup> )	4,4	2,9	1,6	0,6
Rendimiento NO comercial (t.ha <sup>-1</sup> )	3	5	7,9	10,3

Fuente: Aljaro y Escaff (1976).

Aljaro (1990) evalúa el efecto sobre el rendimiento de la combinación de hileras múltiples y distancia entre plantas en ajo tipo rosado, con el uso de riego gravitacional (surco). Y concluye que el rendimiento óptimo de bulbos exportable se alcanza cuando se utilizan de 2 a 3 hileras por camellón y distancia de 10 cm entre bulbillos-semilla.

Lipinski y Gaviola (1995) evaluaron en ajo “colorado” el efecto de la densidad de plantación y la fertilización nitrogenada. Aquí, comprobaron que al aumentar la densidad de plantación disminuyó el rendimiento individual. Es así que, con 720000 plantas. ha<sup>-1</sup> el 47% de los bulbos pertenecían al calibre 4. Además, esta disminución en el rendimiento individual se acentuó en los bulbos que se encontraron en las hileras centrales. Estos ensayos se plantearon en camas de plantación de 4 hileras.

Saluzzo (1997) añade que no basta con aumentar el número de plantas por hectárea para lograr altos rendimientos, sino que hay que tener en cuenta la distancia mínima entre plantas para evitar efectos negativos causado por la competencia intraespecífica.

En trabajos más recientes, Portela y Lucero (2013<sup>b</sup>) mencionan que es posible alcanzar rendimientos óptimos incorporando riego por goteo y uso de altas densidades (50 plantas.m<sup>-2</sup>).

Por otro lado, para aumentar la productividad de un cultivo, es fundamental estimular el crecimiento modular de la planta, es decir la generación de nuevas partes de su organismo, formando estructuras más complejas. La

implementación de bajas densidades de plantación reduce el crecimiento modular de la planta y por lo tanto disminuyen su productividad (Portela, 1996).

En cuanto a la calidad del bulbo, puede quedar definida por la forma, el aspecto, el número de bulbillos. Todas estas características dependen de ecotipo aunque, también de la adaptación del mismo al ambiente (Portela, 1997). Las variaciones en la forma del bulbo son llamadas “malformaciones”. Desde el punto de vista comercial, las malformaciones son la principal causa de descarte y pérdida de valor económico. Uno de los motivos que provocan la aparición de formas irregulares es el crecimiento secundario o “rebrote”.

#### 1.6. Consideraciones finales

Los ajos blancos tempranos y tardíos pertenecen al mismo grupo ecofisiológico GE III de la clasificación argentina con sutiles diferencias en el aprovechamiento de las condicionales ambientales durante el crecimiento y desarrollo. Esto ha obligado a reclasificarlos en subgrupos (GE IIIa y GE IIIb respectivamente). Por otro lado, estos tipos comerciales de ajo ocupan el 70 % de la superficie destinada a este cultivo en la provincia de San Juan y el tercer lugar en términos de superficie cultivada de ajo en Mendoza (Instituto de Desarrollo Rural, 2020; Cámara Productores y Empacadores de ajo de San Juan, 2018).

De lo expuesto hasta aquí y de la necesidad de generar información que aporte a la formación de criterios para la incorporación de tecnologías en el cultivo es que se cuestiona si es posible identificar diferencias en la respuesta de estos tipos de ajo al uso combinado de láminas de reposición y densidades de plantación.

Este estudio propone buscar respuestas a tres interrogantes. En primer lugar, cuáles serán aquellas diferencias distintivas en el crecimiento y desarrollo de las poblaciones multiclonales de ajo blanco por el uso combinado de lámina de reposición y densidad de plantación. En segundo lugar, de qué manera impacta en el rendimiento en términos de cantidad y calidad. Y, por último, será posible hacer un uso más eficiente del recurso hídrico a partir de estas prácticas.

Se espera como resultado, aportar a la generación de conocimientos que permitan adecuar pautas de manejo del cultivo con la finalidad de hacer más el uso del recurso hídrico y el espacio en ajos blancos tempranos y tardío.

#### 1.7. Finalidad de la tesis:

Así como se mencionó al comienzo de este trabajo, el aumento de los costos de producción en la actividad hortícola, la reducción en la oferta de mano de obra y la disminución en la disponibilidad de agua obliga a aplicar tecnologías que mejoren la eficiencia en el uso de los recursos sin perder productividad en el cultivo. Para esto, una propuesta a probar en cultivos de ajo es incrementar el número de plantas por unidad de superficie haciendo uso de tecnologías de riego presurizado (goteo).

##### 1.7.1. Objetivo General

Estudiar el efecto combinado del número de plantas y de láminas de reposición de agua sobre la productividad de poblaciones multiclones de ajo, tipos comerciales blanco temprano y blanco tardío, en la Provincia de San Juan.

##### 1.7.2. Objetivos específicos

- ✓ Identificar respuestas diferenciales entre las cultivares de ajo probadas dentro y entre condiciones de cultivo determinadas por la disponibilidad de agua y la población de plantas.
- ✓ Comprender desde un enfoque ecofisiológico la naturaleza de las variaciones que se evidencien entre cultivares.
- ✓ Establecer criterios para aumentar la eficiencia en el uso del agua mediante el incremento en el número de plantas por unidad de superficie

### 1.7.3. Hipótesis de trabajo

1. Clones de distinto sub-grupo ecofisiológico dentro del GEIII de la clasificación argentina responden de manera diferente, en términos de rendimiento, frente a cambios en la densidad de plantas y disponibilidad de agua.
2. La variación de la respuesta entre cultivares está determinada por diferentes patrones de crecimiento vegetativo.
3. Es factible mejorar el uso del agua en cultivos de ajo blanco en San Juan aumentando la densidad de plantas, sin que se afecte sustancialmente el peso medio de los bulbos (rendimiento individual).

## Capítulo 2

### **Respuestas de las poblaciones multiclonales de ajo blanco tempranos y tardíos en los ambientes propuestos**

#### 2.1. Introducción

Es conocido que el cultivo de ajo es una actividad intensiva y especializada (Castagnino et al., 2020), que en los últimos años ha demandado cada vez más ingenio e innovación para optimizar el uso de los recursos ambientales y económicos que mantengan los niveles de productividad (cantidad y calidad). Ejemplo de lo planteado es la implementación de sistemas de riego presurizado (principalmente por goteo) y la diversidad de clones y/o variedades presentes en el mercado. En cuanto al primero, el uso de riego por goteo abre un abanico de posibilidades relacionadas al manejo del cultivo, más aún al manejo eficiente de los recursos destinados al mismo. Entendiendo a la eficiencia como la capacidad de lograr resultados deseados (e.g. altos rendimientos) con el mínimo uso de recursos.

En relación a la diversidad de cultivares o de clones, se menciona la oferta que propone el Proyecto Ajo/INTA con características morfológicas y ecofisiológica bien definidas y homogéneas, que dan la posibilidad de adaptarse a una gran diversidad de ambientes, mercados y/u objetivos productivos.

Por otro lado, se debe tener en cuenta en el análisis de productividad, la calidad del bulbo de ajo que se define como la expresión y mantenimiento de las características propias de la cultivar (i.e. pureza varietal), sumado a otros aspectos como: que estén bien formados, secos, limpios, firmes, sanos y completos<sup>1</sup>. En la actualidad existe herramientas que permiten conocer el grado de calidad de los ajos cosechados (Lanzavechia y Burba, 2015).

Asimismo, se reconoce que la calidad del bulbo de ajo es consecuencia de las prácticas de manejo durante el cultivo.

En este estudio se puso interés en conocer cuál era la incidencia de bulbos tipo martillos y fofos, considerados anormalidades fisiogénicas (Portela, 1997) que

---

<sup>1</sup> Esta descripción corresponde al Protocolo de calidad de ajo. Resolución SAV N° 36/2016, emitida por la secretaria de Agregado de Valor del Ministerio de Agroindustria de la Nación. Con la finalidad de ser incluidos dentro del sello de valor agregado "ALIMENTOS ARGENTINOS UNA ELECCIÓN NATURAL"

se expresan como malformaciones del bulbo y producto de la respuesta de la población multiclinal al ambiente. A continuación, se realiza una breve descripción de las malformaciones que tuvieron mayor incidencia:

Ajo tipo martillo: generalmente este tipo de malformación se visualiza en ajos blancos (GE III). Se origina por el crecimiento desproporcionado de los bulbillos ubicados en los extremos opuestos del bulbo. La presencia de ajos martillos este asociado a episodios de temperaturas y fotoperiodos que promueven el crecimiento vegetativo durante la etapa de desarrollo de bulbo. Aunque también a prácticas de manejo como exceso de agua, nutrientes o bajas densidades de plantación (Portela,1997).

Ajo fofo: ajos con pérdida de firmeza (al tacto) en más de un bulbillo, bulbillos vanos. La presencia de este tipo de malformación puede estar relacionada al rebrote, debido a que este proceso da como resultados bulbos con bulbillos separados entre sí, baja firmeza, e irregulares (Portela,1997).

El rebrote se describe como un proceso de crecimiento secundario de la planta que se produce en el momento de la inducción a la bulbificación. Generalmente se asocia a plantas de crecimiento vigoroso, y es inducido por el fotoperiodo y temperaturas que promueven el crecimiento vegetativo secundario. Portela (1997) afirma que puede ser un indicador de la adaptación de la variedad al ambiente local. Es decir, genotipos con alto potencial productivo y baja cantidad de plantas con rebrote deberían ser elegidas para una determinada zona o fecha de plantación. Ya que son estos genotipos los que mejor aprovechan los recursos para su crecimiento y desarrollo (Portela,1997).

De lo mencionado hasta acá, se destaca el concepto de tecnologías “costo cero” propuesto por Portela y Lucero (2013<sup>b</sup>), quienes describen a estas tecnologías como aquellos fundamentos y/o criterios que mejoran el proceso de toma de decisión sobre el manejo del cultivo de ajo. Por esta razón, y como ya se ha mencionado, este estudio pretende aportar a esos fundamentos y de esta manera, comprender las relaciones que se establecen entre las poblaciones multiclinales de ajo blanco de San Juan y diferentes láminas de reposición de riego combinado con dos distancias de plantación.

## 2.2. Materiales y Métodos

Este ensayo multiambiental (Balzarini et al., 2008) se realizó en el Campo Anexo San Martín dependiente de INTA San Juan, ubicado en el departamento de San Martín, provincia de San Juan (31°31'37" S; longitud 68°23'33" W, 596 msnm), durante los meses de febrero a noviembre de 2015.

Se probaron 4 poblaciones multiclonales de ajo blanco, 2 del tipo temprano (origen asiático) y 2 del tipo tardío (de origen mediterráneo europeo), en 6 ambientes definidos por la combinación de 3 láminas de reposición de riego y 2 densidades de plantación (Tabla 2.4). Las láminas de reposición se obtuvieron a partir de la demanda de agua del cultivo para cada etapa fisiológica, las características del suelo y del equipo de riego (Liotta y Sarassua, 2010).

La demanda hídrica se calculó a partir de conocer la evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ), por el método del tanque evaporímetro clase A (tanque A) (Allen et al., 2006), según la siguiente ecuación:

$$ET_o = ET_{pan} * K_p \quad (1)$$

Donde:

$ET_o$ : es evapotranspiración de referencia ( $\text{mm día}^{-1}$ ),

$K_p$ : es coeficiente del tanque evaporímetro (adimensional),

$ET_{pan}$ : es evaporación del tanque evaporímetro ( $\text{mm día}^{-1}$ )

Se utilizó un  $k_p$  que varió desde 0,6 a 0,65 según la época del año y ajustado para las condiciones locales. Se utilizó la base de datos, constituida por 30 años de registros y actualizada hasta el momento del ensayo, de la evaporación del tanque evaporímetro clase A de la Estación Experimental INTA San Juan, Campo Anexo San Martín. El tanque evaporímetro clase A estaba situado a corta distancia de la parcela del ensayo. Luego, se afectó la  $ET_o$  por el coeficiente único del cultivo ( $k_c$ ), utilizado comúnmente en la región (Lipinski y Gaviola, 2007) para cada etapa ecofisiológica del cultivo. De esta manera se obtuvo la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) ajustada para cada una de las mismas (Allen et al., 2006), según la siguiente ecuación:

$$ET_c = ET_o * kc \quad (2)$$

Donde:

$ET_c$ : es evapotranspiración del cultivo (mm día<sup>-1</sup>)

$Kc$ : es coeficiente único de cultivo (adimensional)

$ET_o$ : evapotranspiración de referencia (mm día<sup>-1</sup>)

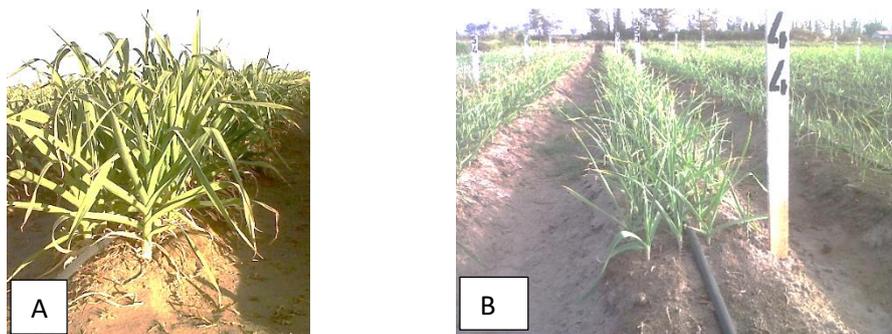
Se tomó la escala ecofisiológica desarrollada para ajos del grupo ecofisiológico III (ARG) según Portela y Lucero (2007), quienes identificaron 5 etapas, a saber: brotación, crecimiento vegetativo inicial, rápido crecimiento vegetativo, rápido crecimiento del bulbo y maduración (Tabla 2.3).

Tabla 2.3. Distribución de las etapas ecofisiológica de ajo blanco según Kc y meses del año usados en este estudio.

Etapa ecofisiológica GE III	kc	Meses
Brotación	0,4 a 0,42	Marzo a Abril
Crecimiento inicial	0,49 a 0,65	Mayo a Julio
Rápido crecimiento vegetativo	0,91	Agosto
Rápido crecimiento de bulbo	1,22 a 1,39	Septiembre a Octubre
Maduración	1,18	Noviembre

Se trabajó con dos densidades de plantación, basada en estudios previos (Aguado 2015; Portela et al., 2017, Figura 2. 1):

- ✓ Densidad simple: 28 plantas.m<sup>-2</sup>, distancia entre plantas 9 cm y distancia entre líneas 38 cm. Es decir, 280.000 plantas. ha<sup>-1</sup>.
- ✓ Densidad doble: 56 plantas.m<sup>-2</sup>, distancia entre plantas 9 cm y entre líneas 18 cm, con distribución alternada de los bulbillos entre líneas (i.e. tresbolillo) en la cama de plantación. Es decir, 560.000 plantas. ha<sup>-1</sup>.



**Figura 2.1** Ensayo multiambiental de ajo.

Imagen A densidad simple (280.00 plantas. ha<sup>-1</sup>), imagen B densidad doble (560.000 plantas. ha<sup>-1</sup>) Foto: Patricia Donoso,2015

Las poblaciones multiclonales que se usaron pertenecen al GE III (Burba y Portela,2022). Dentro de éste, dos poblaciones pertenecen al subgrupo ecofisiológico (SGE) IIIa, Blancos Tempranos (origen asiático), distinguidas aquí por el hecho de ser con vara floral (c/VF) o sin vara floral (s/VF). Las otras dos poblaciones pertenecen al SGE IIIb, Blancos Tardíos (origen mediterráneo europeo), diferenciadas por la denominación local como Sj7 y Sj14. Estas poblaciones multiclonales formaron parte de una colección de poblaciones de ajo de la Estación Experimental INTA San Juan, y son representativas de las “variedades” que se cultivan habitualmente por el sector ajero de la provincia (Cuesta et al., 2020; Cámara de Productores Empacadores y Exportadores de ajo de San Juan, 2015).

El diseño experimental fue en bloques completamente aleatorizados con arreglo bifactorial de tratamiento. Un factor fue las poblaciones multiclonales de ajo. El otro factor de clasificación fue el ambiente. Cada parcela tuvo una superficie de 56 m<sup>2</sup>. Y se conformaron por dos camas o platabandas de 0,70 m de ancho por 4 m de largo. Las densidades de plantación fueron dos, 154 plantas por parcela e hilera simple en los ambientes de densidad simple y 308 plantas por parcela e hilera doble en los ambientes de doble densidad (Tabla 2.4). Los ambientes estaban separados por borduras, al igual que las caras laterales de la parcela. Para las borduras se utilizó la población multiclonal Sj7 (mayor disponibilidad de dientes semilla). En la Figura 2.2 se presenta un esquema del diseño empleado.

Tabla:2.4. Descripción de los ambientes según lámina de reposición de riego y densidad de plantación.

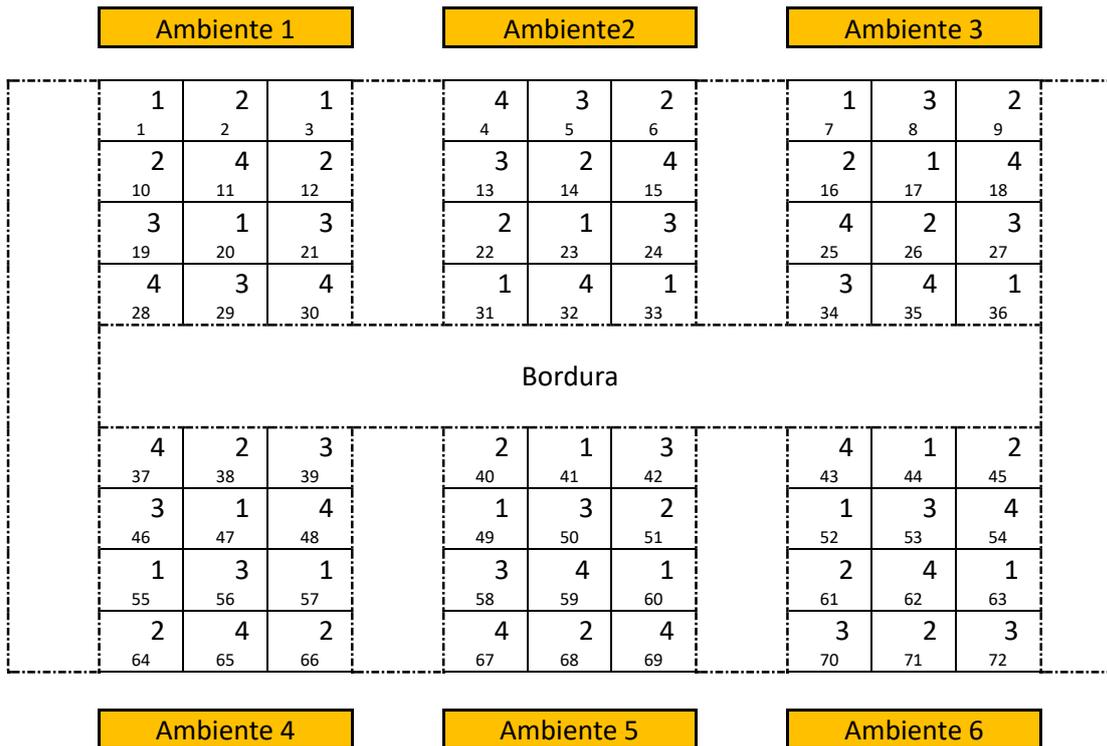
Ambiente	Composición
1	130% de reposición hídrica según la evapotranspiración del cultivo (ETc) y densidad simple (28 plantas.m <sup>-2</sup> )
2	100% de reposición hídrica según ETc y densidad simple (28 plantas.m <sup>-2</sup> )
3	70 % de reposición hídrica según ETc y densidad simple (28 plantas.m <sup>-2</sup> )
4	130% de reposición hídrica según ETc y densidad doble (56 plantas.m <sup>-2</sup> )
5	100% de reposición hídrica según ETc y densidad doble (56 plantas.m <sup>-2</sup> )
6	70 % de reposición hídrica según ETc y densidad doble (56 plantas.m <sup>-2</sup> )

Previo a la instalación del ensayo se realizó un muestreo para conocer las características físico-químicas del mismo. Para la toma de muestra se recorrió el terreno trazando una “W” imaginaria y mediante uso de pala barreno se tomaron 10 submuestras hasta los 40 cm de profundidad. Las submuestras fueron mezcladas, para su homogenización y posterior obtención de la muestra compuesta. Luego fue colocada en una bolsa plástica bien identificada y enviada al laboratorio para realizar las determinaciones necesarias (Gil, 2002). Los resultados se detallan en la Tabla 2.5. Corresponde a un suelo de textura arenoso franco, de pH alcalino, nitrógeno total pobre, fósforo disponible alto y potasio intercambiable alto. Suelo de origen aluvial, entisol, Torrifluente típico (Liotta, 2011). La parcela se ubicó en una zona homogénea.

Tabla 2.5. Características fisicoquímicas del suelo del lugar del ensayo.

Profundidad (cm)	Textura	VS (ml%g)	CEe (μScm <sup>-1</sup> )	pH	N (ppm)	P (ppm)	K (ppm)
00-40	Arenoso-franco	80	2181	7,7	542	19	503

Referencia: VS (ml%g) Volumen de sedimentación, CEe (μScm<sup>-1</sup>) conductividad eléctrica del extracto de saturación expresada en μScm<sup>-1</sup> unidad equivalente a μmhos cm<sup>-1</sup>; N (ppm): nitrógeno total; P(ppm): fósforo disponible en suelo método extracción con CO<sub>2</sub> relación suelo agua 1:10, K(ppm): potasio intercambiable.



**Figura 2.** 2. Diseño experimental del ensayo multiambiental formado por seis ambientes y cuatro poblaciones multiclonales de ajo Blanco Temprano y Tardío.

Referencia: Ambiente 1. 130% de reposición hídrica según la evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>) y densidad simple (28 plantas.m<sup>-2</sup>). Ambiente 2: 100% de reposición hídrica según ET<sub>c</sub> y densidad simple (28 plantas.m<sup>-2</sup>). Ambiente 3: 70 % de reposición hídrica según ET<sub>c</sub> y densidad simple (28 plantas.m<sup>-2</sup>). Ambiente 4: 130% de reposición hídrica según ET<sub>c</sub> y densidad doble (56 plantas.m<sup>-2</sup>). Ambiente 5 100% de reposición hídrica según ET<sub>c</sub> y densidad doble (56 plantas.m<sup>-2</sup>). Ambiente 6 70 % de reposición hídrica según ET<sub>c</sub> y densidad doble (56 plantas.m<sup>-2</sup>).

Se tomó la temperatura del aire en la parcela del ensayo durante el periodo de marzo a noviembre (Figura 2.3). Este registro se realizó con un sensor HOBO (datalogger que registra temperaturas de aire desde -20 °C a 70 °C) colocado a 1,5 m de altura. Los datos se utilizaron para conocer la suma térmica desde plantación hasta alcanzar el 80% de emergencia (ST80E), se consideraron aquellas temperaturas por encima de la temperatura base 0 °C (Portela, 2004) Se obtuvo a partir de la siguiente ecuación:

$$ST80E = \sum(T_{max} - T_{min})/2 \quad (3)$$

Donde:

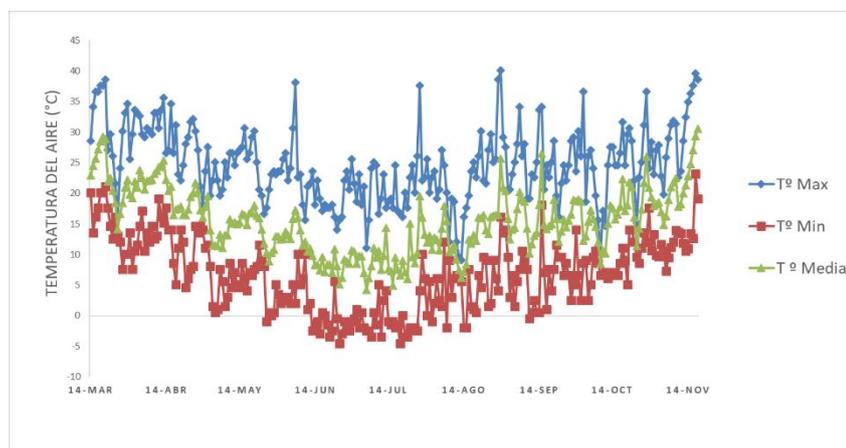
ST80E : es la suma térmica hasta alcanzar el 80% de emergencia (°GD)

T<sub>max</sub>: es la temperatura máxima (°C)

$T_{min}$ : es la temperatura mínima ( $^{\circ}\text{C}$ )

En el ensayo se utilizó riego por goteo. El momento y tiempo de riego se planificaron a partir de conocer la demanda hídrica del cultivo para cada etapa ecofisiológica, las características de suelo y las características del equipo de riego. Se usó una cinta de riego por goteo Netafim Streamline 16080 con emisores cada 0,3 m y un caudal nominal de  $1 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ .

Para monitorear el desempeño de los emisores durante la operación de riego se midió el coeficiente de uniformidad (CU) y la presión al final de los laterales de riego. El CU se define como la relación entre el promedio de caudal de los cuatro peores emisores sobre el promedio de caudal de 16 emisores.



**Figura 2.3.** Evolución de las temperaturas diarias durante el ciclo del cultivo Temperaturas medias ( $T^{\circ}$  Media); temperatura mínima ( $T^{\circ}$  Min) y temperatura máxima ( $T^{\circ}$  Max) durante el ensayo (marzo a noviembre 2015).

El procedimiento para la determinación del CU fue el siguiente: se seleccionaron cuatro laterales de riego, dos más alejados y los otros dos intermedios equidistantes de los otros. De los cuatro laterales de riego se seleccionaron dieciséis puntos de medición (emisores) ubicadas al comienzo, a 1/3, a los 2/3 y último de cada lateral. En cada punto se midió el caudal del emisor durante 36 segundos. Luego los caudales de los emisores se ordenaron de mayor a menor y se promediaron los cuatro peores caudales. También se obtuvo el promedio de los dieciséis emisores. (Liotta 2005). La síntesis de esta información se presenta en la Tabla 2.6

Tabla 2.6. Resumen de evaluación de coeficiente de uniformidad (%) y presión lateral de riego durante una operación de riego

PromGen (ml.h <sup>-1</sup> )	Prom4peor (ml.h <sup>-1</sup> )	CU (%)	Presión final línea
1084,4	1062,5	97,98	0,9 bar

Referencias: PromGen(ml) promedio caudal general (ml)de 16 emisores; Prom4peor (ml) promedio caudal de los 4 peores emisores(ml), CU coeficiente de uniformidad (%) y presión de final de lateral de riego

La planificación del riego (tiempo y momento de riego) se determinó por el método de cálculo de lámina fija – frecuencia variable (Liotta y Sarasua 2010), el cual consiste en reponer una lámina de riego constante durante todo el ciclo del cultivo con variación en el intervalo de riego. El procedimiento de cálculo consistió en determinar:

- ✓ la lámina disponible (mm) (a partir de las características de suelo),
- ✓ lámina de reposición (mm) (tiene en cuenta el umbral de agotamiento, parámetro que está dado por el cultivo),
- ✓ la necesidad neta de riego (mm) (que tiene en cuenta la ETc diariamente);
- ✓ la necesidad bruta de riego (mm) (que tiene en cuenta la necesidad real de riego considerando los requerimientos de lixiviación, la eficiencia de riego y el coeficiente de uniformidad).
- ✓ momento de riego (oportunidad de riego): este quedó dado cuando la necesidad neta de riego acumulada (mm) fue igual o superior a la lámina de reposición.

Y por último el tiempo de riego: que se obtuvo del cociente entre la necesidad bruta (NB) de riego (mm) y la precipitación del sistema (mm.h<sup>-1</sup>). La precipitación del sistema se obtiene a partir de la relación entre el caudal del emisor y el área asignada para cada emisor.

Una vez que se conoció el tiempo y momento de riego para la reposición del 100ETc se calcularon los tiempos de riego para los ambientes 130ETc y 70ETc. Esto se hizo afectando el tiempo de riego 100ETc por los coeficientes 1,3 y 0,7 respectivamente.

El control de riego se realizó a partir del monitoreo del contenido de humedad en el suelo. Para esto se utilizó el método gravimétrico. El procedimiento consistió en tomar muestras de suelo antes de cada riego. Las muestras se obtuvieron desde profundidad de raíces, por lo tanto, fue variando desde 20 cm a los 40 cm según época del ciclo. Por cada tratamiento de riego se tomaron 4 muestras, las cuales fueron extraídas con barreno. Cada muestra fue colocada en un pesafiltro (envase cilíndrico de aluminio con tapa) debidamente identificado. Se encintó la tapa de cada pesafiltro, luego se colocó dentro de una conservadora con la finalidad de minimizar las pérdidas de humedad hasta llegar a laboratorio. En el laboratorio se registró el peso de cada pesafiltro (peso húmedo) y se colocaron en estufa a 105 °C por 48 h (hasta alcanzar peso constante, peso seco). Las muestras se retiraron de estufa y pesaron nuevamente. Finalmente se limpiaron los envases, se pesaron y registró su peso (Hanson y Orloff, 1998; Programase Servicios Agrícolas Provinciales, 2016). El contenido de humedad se obtuvo a partir de la siguiente formula:

$$CH = ((PSH - PSS) * PSS - 1) * 100 \quad (4)$$

Donde

*CH*: es contenido de humedad gravimétrica (%)

*PSH*: es peso suelo húmedo (g)

*PSS*: es peso suelo seco (g)

Los muestreos se realizaron en 5 momentos, en los días: 23, 32,44,51,165 y 221 (se consideró al día 1 de enero como día 1)

Se seleccionaron los bulbos madres según el siguiente criterio: bulbos sanos, firmes y enteros. Luego estos se desgranaron y los bulbillos se pasaron por una doble malla cuadra (21 mm y 17 mm respectivamente). Se seleccionaron como *diente semilla* a aquellos que quedaron por encima de los 21 mm (dientes grandes) y por encima de los 17 mm (dientes medianos). Luego se determinó el índice de visual de dormición (IVD). El IVD se define como la relación entre el tamaño de la hoja de brotación y la hoja de reserva por 100. Para esta determinación se tomó una muestra de 16 bulbillos por cada población multiclinal (Burba, 2003). Los resultados se presentan en la Tabla 2.7

Tabla 2.7. Peso promedio bulbillos (Ppromb) e índice visual de dormición (IVD) de los bulbillos semillas por población multiclonal.

Población Multiclonal	Ppromb (g)	IVD (%)
Bco Temprano c/VF	6,3	91,4
Bco Tardío SJ 14	5,0	50,3
Bco Temprano s/VF	5,5	87,5
Bco Tardío SJ 7	5,7	46,6

Referencias: Bco.Temp.c/VF: población multiclonal (PM) Blanco temprano con vara floral; Bco. Tardío Sj14: PM Blanco tardío Sj14; Bco temp s/VF: PM Blanco temprano sin vara floral, Bco. Tardío Sj 7: PM Blanco tardío Sj7.

La superficie total del ensayo fue de 619 m<sup>2</sup>. El terreno de la parcela se encontró libre de malezas perenne. Después de la preparación del suelo y armado de las camas y antes de la plantación se realizó una fertilización de base con fosfato monoamónico (formulación 11-52-0) 150 kg. ha<sup>-1</sup> en la densidad simple y 300 kg. ha<sup>-1</sup> en la densidad doble. Luego se colocaron las cintas de riego. La plantación se realizó el 7 de marzo de 2015. Posteriormente se hizo la aplicación de herbicidas en dos momentos: pre emergente (p.a. pendimentalin) dosis 2 L.ha<sup>-1</sup> y pos-emergencia (p.a. linuron) dosis 1,5 L. ha<sup>-1</sup>. Luego se fertilizó partir de la presencia de 3 hojas. Esta tarea se distribuyó en dos momentos (mayo y junio 2015). Se incorporó al suelo, sobre la cama de plantación, urea (formulación 46-0-0) 206 kg. ha<sup>-1</sup> en densidad simple y 412 kg. ha<sup>-1</sup>. Después de la plantación se registró, por parcela y dos veces por semana, la cantidad de plantas emergidas hasta alcanzar el 80%. La plantación y cosecha se hicieron de forma manual.

En cada parcela se identificaron 4 plantas para el registro de crecimiento. Este registro consistió en medir altura de planta, número de hojas verdes, número de hojas totales. La medición se realizó en 9 ocasiones. (días 115,123,128,149,170,191,215,240,251). Se consideró al día 1 como el 1 de enero.

En 3 oportunidades: día 216, día 261 y cosecha, se extrajeron muestras de 4 plantas por parcelas para medición de biomasa. De la planta se eliminaron las raíces, el pseudotallo se separó en dos partes (porción aérea y bulbo) mediante un corte a 5 cm sobre el disco. A la porción aérea se la subdividió en lámina, vaina, y vara floral (en el caso que estuviera presente), se pesaron, luego se colocaron

en estufa a 75 °C hasta alcanzar peso contante. Al retirar de la estufa se pesaron nuevamente (Portela y Cavagnaro, 2003b) También se contabilizó número de hojas, altura de planta y se midió área foliar por planta a partir de registrar el ancho y largo de cada lámina foliar.

La cosecha se realizó desde el 14 al 18 de noviembre según su estado de madurez. En la etapa de pos cosecha los bulbos “con rama” fueron colocadas en un ambiente propicio (ventilado, evitando la luz directa y protegido de la lluvia) debidamente identificados según parcela y ambiente para el curado de mismos por un periodo de 30 días. Esta práctica consiste en permitir el secado de las hojas envolventes. Para esto, los bulbos frescos en rama fueron colocados de manera vertical en una bolsa de red, evitando que las hojas tomen contacto con los bulbos (Burba, 2002 b) Luego se realizó el descolado, que consistió en cortar las raíces y las hojas secas, dejando el bulbo seco y limpio.

Por último, se realizaron las tareas de: pesado, calibrado, determinación de bulbos normales y malformaciones (descarte)

En relación con el calibrado de bulbo (determinación del diámetro medio en mm) se utilizó la escala establecida por la Norma IRAM/INTA 155.002 (Burba y Lanzavechia, 2022) (Tabla 2. 8).

Tabla 2.8 Descripción de los calibres para ajo seco y limpio según Nomas IRAM/INTA 155002

Calibre	Diámetro mayor (mm)
3	26 < d < 35
4	36 < d < 45
5	46 < d < 55
6	56 < d < 65
7	66 < d < 75
8	76 < d < 85
9	86 < d < 95

La determinación de bulbos normales y malformaciones se hizo según su aspecto externo (López et al., 2014) y se consideró, para el análisis, dentro las malformaciones aquellos tipos “martillo” y “fofo”. Se describe a los ajos fofos como aquellos pocos firmes al tacto.

Para interpretar la respuesta de las poblaciones multiclonales de ajo a la acción de los ambientes propuestos y a la variabilidad entre ellas se definió como componentes del rendimiento a las siguientes variables respuestas:

- ✓ Peso medio de bulbo (PMB): de cada parcela se tomaron dos muestras de 30 bulbos secos y limpios que se pesaron, luego se obtuvo el promedio de peso individual. Se expresó en gramos (g).
- ✓ Diámetro medio de bulbo (DMB): los bulbos de cada muestra se calibraron y luego se registró el número de bulbos por calibre, posteriormente se obtuvo el promedio del total de bulbos calibrados. Se expresó en centímetros(cm).
- ✓ Proporción de bulbos comerciales (PBC): Se hizo un recuento de los bulbos calibre 6, 7 y 8, se sumaron y luego se promediaron por el total de bulbos de la muestra.
- ✓ Proporción de bulbos normales (PBN): Se consideró, dentro de esta variable, a todos los bulbos cosechados, limpios y curados que cumplían con la siguiente descripción: bulbos de perímetros circular, compactos, forma algo globosa y armónica (Portela, 1997). Los bulbos con estas características reciben la denominación de Bulbos Normales Se hizo un recuento de estos bulbos por calibre, se sumaron y se promediaron por el total de bulbos de la parcela.
- ✓ Presencia de ajos malformados: se contabilizó el número de ajos tipo martillos(BM) y fofos (BF).

Se ajustó un modelo de análisis de la covarianza para un diseño en bloques.

$$\text{Modelo: } y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \gamma_j + \delta_{ij} + \beta_k + \rho_l \text{ [[Cov]] }_l + \rho_{(l.)} \text{ [[Cov]] }_{(l.)} + \dots + \epsilon_{ijkl} \quad (5)$$

Donde

$y_{ijkl}$  es el valor de la variable observada para la variedad  $i$ , el ambiente  $j$ , el bloque  $k$  y las covariables  $(l.)$

$\mu$  es la media general de la variable analizada

$\tau_i$  es el efecto de la población multiclonal  $i$  ( $i=1, 2, 3, 4$ )

$\gamma_j$  es el efecto del ambiente  $j$  ( $j= 1, 2, 3, 4, 5, 6$ )

$\delta_{ij}$  es el efecto de la interacción de la población multiclonal  $i$  con el ambiente  $j$

$\beta_k$  es el efecto del bloque  $k$  ( $k=1, 2, 3$ )

$\rho_l$  es coeficiente asociado a la covariable  $l$

$\epsilon_{ijkl}$  es el término del error aleatorios que se supone se distribuye forma normal con media cero y varianza  $\sigma^2$ .

Cada modelo se ajustó dos veces, una con todas las covariables y otra únicamente con las covariables que resultaron ser estadísticamente significativas en el primer ajuste (modelo completo). Las condiciones para la inferencia se probaron mediante el gráfico QQ-plot de los residuos para la normalidad y el diagrama de dispersión entre los residuos y los predichos para determinar homogeneidad de varianza entre factores de tratamiento (homocedasticidad).

En el caso que no se verificó el cumplimiento de la homocedasticidad, en el segundo ajuste, se realizaron más ajustes para determinar cuál o cuáles factores presentaban varianzas distintas. La selección del mejor modelo se realizó mediante el Criterio de Información de Akaike (AIC por sus siglas en inglés, Arroyo y Balzarini 2007). El modelo que mostró menor AIC es el que mejor representó al conjunto de datos analizado.

Con la finalidad de describir cómo las diferentes variables (dependientes y covariables) explican la variabilidad observada entre variedades y ambientes se ajustó una regresión por mínimos cuadrados (PLS, por sus siglas en inglés). La regresión PLS se usa cuando existe correlación entre las variables covariables (regresoras) y busca relacionar una matriz de variables explicativas, o dependientes con la matriz de covariables o regresoras (Balzarini et al. 2008). Los resultados del PLS son presentados a través de un gráfico de dispersión llamado “tri-plot” en el que además de graficar las variables explicativas y los

individuos, se grafican las covariables. Para entender mejor los resultados observados en el gráfico tri-plot se estimaron los coeficientes de correlación de Pearson entre variables dependientes y covariables. El ajuste de la regresión PLS se realizó sobre las medias ajustadas por los modelos de Análisis de la varianza y las medias de las covariables.

Todos los ajustes de los análisis estadísticos se realizaron con el programa de análisis estadístico de datos InfoSat (Di Rienzo et al., 2020).

A continuación, se listan las variables de crecimiento que explicaron el desempeño de las variables de rendimiento.

- ✓ Número de hojas verdes al día 216 (H216)
- ✓ Altura de planta al día 216 (A216)
- ✓ Número de hojas verdes a los 261(H261)
- ✓ Altura de la planta al día 261 (A261)
- ✓ Área foliar 261 días (AF261)
- ✓ Número de hojas verdes en 9 momentos (días115, 123,128,149,170,191,215,240,251)
- ✓ Altura de planta en 9 momentos (días115; 123,128,149,170,191,215,240,251)
- ✓ Peso fresco de bulbo al día 270 (PFB270)
- ✓ Peso seco del bulbo al día 270(PSB270)
- ✓ Peso fresco de bulbo a cosecha (PFBC)
- ✓ Peso seco de bulbo a cosecha (PSBC)
- ✓ Días desde plantación hasta 80% de emergencia (D80E)
- ✓ Suma térmica hasta el 80% de emergencia (ST80E)
- ✓ Peso seco total de planta (g) a lo largo de ciclo
- ✓ Peso seco de la lámina foliar (g) a lo largo del ciclo
- ✓ Peso seco de bulbo (g) a lo largo del ciclo
- ✓ Tasa de crecimiento relativo de bulbo 1 (TCR1)
- ✓ Tasa de crecimiento relativo de bulbo 2 (TCR2)

Para comparar las poblaciones multiclonaes en los distintos ambientes a través de las fases de crecimiento se ajustó un modelo de análisis de la varianza de

tipo mixto, en el que se estimó la correlación de las mediciones en el tiempo además de las interacciones dobles y triple entre los factores población multiclonal, ambiente y día.

$$\text{Modelo: } y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \gamma_j + \delta_k + \beta_l + \alpha_{ij} + \pi_{ik} + \varphi_{jk} + \omega_{ijk} + \epsilon_{ijkl} \quad (6)$$

Donde

$y_{ijkl}$  es el valor de la variable observada para la variedad  $i$ , el ambiente  $j$ , el día juliano de medición  $k$  y el bloque  $l$

$\mu$  es la media general de la variable analizada

$\tau_i$  es el efecto de la variedad  $i$  ( $i=1, 2, 3, 4$ )

$\gamma_j$  es el efecto del ambiente  $j$  ( $j= 1, 2, 3, 4, 5, 6$ )

$\delta_k$  es el efecto de la fecha de medición  $k$  (día juliano) ( $k= 161, 169, 174, 195, 216, 237, 261, 286, 297$ )

$\beta_l$  es el efecto del bloque  $l$  ( $l=1, 2, 3$ )

$\alpha_{ij}$  es el efecto de la interacción doble entre la variedad  $i$  y el ambiente  $j$

$\pi_{ik}$  es el efecto de la interacción doble entre la variedad  $i$  y el día juliano de medición  $k$

$\varphi_{jk}$  es el efecto de la interacción doble entre el ambiente  $j$  y el día juliano de medición  $k$

$\omega_{ijk}$  es la interacción triple, entre la variedad  $i$ , el ambiente  $j$  y el día juliano de medición  $k$

$\epsilon_{ijkl}$  es el término del error aleatorios que se supone se distribuye normal con media cero y varianza  $\rho\sigma^2$ , donde  $\rho$  es la correlación entre observaciones de variedad, ambiente y bloque con el día juliano de medición. El modelo propuesto para la estimación de la correlación  $\rho$  es el Autoregresivo de orden 1.

Para cada variable dependiente se ajustó inicialmente el modelo homocedástico, cuando se determinó gráficamente (diagrama de dispersión de residuales vs predichos) no se podía sostener este supuesto y se ajustaron modelos heterocedásticos. La selección del mejor modelo se realizó mediante el Criterio de Información de Akaike (Arroyo y Balzarini, 2007). Cuando el modelo ajustado indicó diferencias estadísticamente significativas en alguno de los factores se ajustó la prueba de comparación de media DGC (Di Rienzo, 2002).

También se determinó la eficiencia en el uso del agua (EUA). La eficiencia en el uso del agua a nivel de cultivo se define como la relación entre la cantidad de biomasa de un cultivo por unidad de agua utilizada en un momento determinado (Salazar Moreno et al., 2014). Asimismo, puede expresarse en términos productivos como la relación entre el rendimiento del cultivo en kilogramos por milímetro de lámina recibida por el cultivo (Lipinski, 2013).

Es decir:

$$EUA = Rto * dr^{-1} \quad (6)$$

Donde:

*EUA* = eficiencia en el uso del agua

*Rto* = rendimiento (kg)

*dr* = lámina aplicada (mm)

La EUA es una variable importante al momento de la toma de decisiones sobre la productividad del cultivo y el uso de agua en el mismo. Existen vastos antecedentes que dan cuenta del uso de esta variable en estudios sobre la optimización uso del manejo hídrico en cultivos de ajo (Fabeiro Cortez et al., 2003; Barrios Días et al., 2005; Lipinski y Gaviola de Heras, 2008, 2013)

## 2.3. Resultados y Discusión

### 2.3.1 Agua aplicada

Las láminas totales entregadas por ambientes fueron las que se detallan en la Tabla 2.9, estas fluctuaron entre 842,24 mm a 552,9 mm y la variabilidad se relacionó a la duración del ciclo del cultivo y a los ambientes.

Tabla 2.9. Láminas de reposición entregadas por ambiente

Periodo (días)	Prof. Raíces (cm)	ETo (mm)	dr 100ETc (mm)	dr 130ETc (mm)	dr70ETc (mm)
146	00-20	415,3	369,3	416,7	317,5
109	00-30	494,9	327,6	425,7	235,5
Total			696,8	842,4	552,9

Referencias: ETo: evapotranspiración de referencia en milímetros; dr 100 ETc lámina de reposición de 100%ETc en milímetros; dr 130 ETc en milímetros; lámina de reposición de 130 %ETc en milímetros; dr 70 ETc lámina de reposición del 70%de ETc en milímetros.

Con la finalidad de monitorear la planificación de riego, específicamente el momento de riego, se obtuvo la relación entre el contenido de humedad de suelo antes de riego (CHS) y la necesidad neta riego acumulada (NN).

Como se mencionó en el apartado de Materiales y Métodos y siguiendo la planificación de riego de Liotta y Sarasua (2010), el momento de riego se determinó cuando la NN fue igual o superior a la lámina de reposición. Que, según Allen et.al, (2006), para el ajo representa el 30% del total de agua disponible en la zona radicular del suelo. De estas afirmaciones se pudo inferir que se realizaron las operaciones de riego cuando el contenido de humedad del suelo fue inferior a la NN y por lo tanto a la lámina de reposición. Es así como, para los ambientes que propusieron simple densidad este cociente (RCNN) se encontró entre los valores de 0,64 a 0,68 y en los ambientes de doble densidad este estuvo entre los valores de 0,77al 0,79 (Figura 2.4).

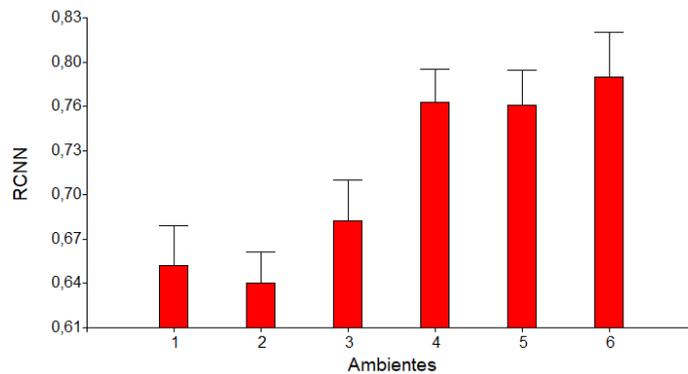


Figura 2.4 Relación entre el contenido de humedad antes de riego y la necesidad neta de riego acumulada (RCNN) por ambiente.

Referencia: DS: densidad simple (280.000 plantas. ha<sup>-1</sup>); DD: densidad doble (560.000 plantas. ha<sup>-1</sup>); Ambiente 1: 130ETc en DS; Ambiente 2: 100ETc en DS; Ambiente 3: 70ETc en DS; Ambiente 4: 130 ETc en DD; Ambiente 5: 100ETC en DD; Ambiente 6: 70ETc en DD.

### 2.3.2. Correlación entre variables respuestas vinculadas al rendimiento y covariables de crecimiento de planta y desarrollo de bulbo.

Desde la visión de sistemas complejos (García, 2006), el ambiente puede ser definido como una trama compleja de interacciones entre elementos bióticos, abióticos y socioculturales que está en un constante proceso dinámico de regulación. Este proceso dinámico está dado por las relaciones que se establecen entre los elementos que conforman este sistema. De esta conceptualización se desprende que el hombre forma parte de este sistema llamado ambiente. Que su accionar (prácticas del manejo del cultivo) causara perturbaciones, modificación de las relaciones establecida o nuevas relaciones. Que, posiblemente, el efecto de estas modificaciones entre las relaciones del sistema, pueden visualizarse como repuesta del cultivo en términos de crecimiento, desarrollo y productividad. Así mismo, Portela (1996) menciona que, desde un punto de vista biológico, cada combinación específica de los elementos que forman el ambiente se asocia a una determina disponibilidad de recursos (agua, nutrientes, energía) que permiten la vida. Cada individuo tiene una capacidad de adaptación que se expresa como la habilidad que tiene para captar estos recursos. A partir de estas afirmaciones y para comenzar a identificar y comprender las respuestas de las poblaciones multiclonales (tipo comercial)<sup>2</sup> de

<sup>2</sup> Población multiclonales: se define como un conjunto de individuos que proviene de un grupo de clones (es decir un conjunto de individuos genéticamente idénticos) de características fenológicas

ajo en estudio frente a los diferentes ambientes se describen las correlaciones establecidas entre variables (de rendimiento) y covariables (de la planta) a partir del análisis multivariado.

Se encontró que todas las variables dependientes correlacionan significativamente con las covariables. Las correlaciones positivas están entre 0,2 y 0,7. Y se establecieron con las covariables H216, A216, H261, A261 AF261, PFB270, PSB270 PFBC, PSBC. Por otro lado, las correlaciones negativas que se observan con las covariables D80E y ST80E se encuentran entre los valores -0,3 y -0,4 (Tabla 2.10). Además, se observó que entre las covariables PFBC y PSBC y la variable PBN también hay correlación negativa (-0,4 y -0,3).

Se determinaron correlaciones significativas altas y positivas entre las variables dependientes diámetro medio del bulbo (DMB) y peso medio del bulbo (PMB) ( $r=0,09$ ) (Tabla 2.10). Se espera que ambas variables tengan similar desempeño frente a los diferentes ambientes y entre las poblaciones multiclonales. Otros autores (Rezende et al. 2015; Santos Vieira et al. 2021) también encontraron fuerte relación entre variables que son componentes de la productividad, como las mencionadas anteriormente, y coinciden en que altos rendimientos están asociados a diámetros de bulbos mayores.

También existe correlación fuerte y positiva entre las covariables A216 con H216 ( $r=0,9$ ), entre A261 y H216 ( $r=0,8$ ), entre A261 y A216 ( $r=0,8$ ) y entre PFB270 y PSB270 ( $r=0,8$ ) (Tabla 2.10). Estos resultados coinciden con Portela y Lucero, 2007, quienes concluyeron que las condiciones ambientales que influyen sobre crecimiento de la planta y desarrollo del bulbo dan como resultado variaciones en el rendimiento del cultivo.

Continuado con los resultados exploratorios, la Tabla 2.10 muestra una relación fuerte y positiva entre las covariables D80E y ST80E ( $r=1$ ). Ambas variables están asociadas a la velocidad con la que se desarrolla esta etapa (Aguado,2015). A mayor cantidad de días desde plantación al 80 % de

---

similares, que puede ser utilizado para la creación de una cultivar monoclonal a partir del mejoramiento (procesos de selección).

Tipo comercial: es una denominación vulgar reconocida internacionalmente asociada al color de las catáfilas (hojas de protección los bulbillos o eventualmente del bulbo). Se los llama ajos “blancos”, “morados”, “colorados”, etc. (Burba 2002b).

emergencia, mayor será la suma térmica y por lo tanto menor la velocidad de emergencia de hojas. Esta situación influye sobre las etapas de crecimiento y desarrollo del cultivo, en consecuencia, también sobre el rendimiento. A sí mismo y como es conocido, la temperatura, la oferta de agua y la cultivar son los factores que condicionan la etapa de brotación (Portela y Cavagnaro,2005). Es así que, se esperó que las poblaciones multiclinales presenten variabilidad en el desempeño de estas covariables en los ambientes propuestos. Aportando a estas afirmaciones, se observó que las covariables de número de hojas a los 216 días (H216); número de hojas a los 261 días (H261); altura de planta a los 216 días(A216), altura de planta a los 261 días(A261) correlacionaron de manera negativa con las covariables relacionadas con el 80% de la emergencia (D80E y ST80E).

Por último, la variable Proporción de bulbos normales (PBN) tuvo una correlación alta y negativa con la variable Número de bulbo fofo (BF) y una correlación moderada y negativa con la variable Número de bulbo martillos (BM) (Tabla 2.10). Por lo tanto, es de esperar que aquellas poblaciones multiclinales con mayor cantidad de bulbo martillo y fofos tengan menor proporción de bulbos normales.

**Tabla 2.10.** Coeficiente de correlación de Pearson entre variables dependientes y covariables

	PMB	DMB	PBC	PBN	BM	BF	H216	A216	H261	A261	AF 261	PFB270	PSB270	PFBC	PSBC	D80E	ST80E	
PMB																		
DMB	<b>0,9</b>																	
PBC	<b>0,6</b>	<b>0,4</b>																
PBN	-0,1	-0,4	0,0															
BM	0,4	<b>0,4</b>	0,2	-0,3														
BF	0,1	<b>0,5</b>	0,1	<b>-0,7</b>	0,1													
H216	<b>0,6</b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>	0,0	0,1	0,0												
A216	<b>0,6</b>	0,4	<b>0,4</b>	0,0	0,0	-0,1	<b>0,9</b>											
H261	0,4	<b>0,5</b>	0,2	-0,2	0,4	0,2	0,4	0,4										
A261	0,5	0,3	<b>0,4</b>	0,2	0,0	-0,2	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	0,4									
AF 261	0,2	0,0	0,1	0,1	0,0	-0,2	0,5	0,4	0,1	<b>0,5</b>								
PFB270	<b>0,5</b>	0,3	0,2	0,0	0,3	-0,1	0,5	0,4	0,3	<b>0,5</b>	<b>0,6</b>							
PSB270	<b>0,5</b>	0,3	0,3	0,0	0,3	-0,1	<b>0,6</b>	0,4	0,2	0,4	<b>0,5</b>	<b>0,8</b>						
PFBC	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	0,3	<b>-0,4</b>	0,3	<b>0,4</b>	0,3	0,3	0,4	0,1	0,0	0,2	0,2					
PSBC	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>	<b>-0,3</b>	<b>0,4</b>	0,2	0,2	0,2	0,4	0,1	0,0	0,3	0,3	<b>0,6</b>				
D80E	-0,4	-0,3	-0,4	0,0	-0,1	0,1	-0,4	-0,5	-0,3	-0,4	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3			
ST80E	-0,4	-0,3	-0,4	0,0	-0,1	0,1	-0,4	-0,5	-0,2	-0,4	-0,2	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3	<b>1,0</b>		

En negrita correlación significativamente distinta de cero. peso medio del bulbo (PMB) diámetro medio de bulbo (DMB), proporción de bulbos comerciales (PBC), Proporción de bulbos normales (PBN), número de bulbos martillo (BM) y número de bulbos fofos (BF); las covariables: número de hojas verdes al día 216 (H216), altura de planta al día 216 (A216), número de hojas verdes a al día 261 (H261), altura de la planta al día 261 (A261), área foliar al día 261 (AF261); peso fresco del bulbo al día 261 (PFB261); peso fresco seco del bulbo al día 261 (PSB261); peso fresco del bulbo a cosecha (PFBC); Peso seco del bulbo a cosecha (PSBC); días desde plantación hasta 80% de emergencia (D80E) y suma térmica hasta el 80% de emergencia (ST80E)

Debido a la diversidad fenotípica de este cultivo y a que la propagación es exclusivamente agámica, en el mejoramiento genético del ajo, se han utilizado caracteres morfológicos relacionados al rendimiento para identificar nuevos genotipos (Rezende et al. 2015; Santos Viera et al. 2021). Estos caracteres varían no solo por las características genotípicas de las poblaciones de ajos sino también por el ambiente o localidad en la que se lleva a cabo este proceso. La expresión de esta variabilidad es el resultado de la interacción genotipo-ambiente (López Frasca y Portela 2006).

También se estudió la interacción entre el ambiente y el cultivo frente a situaciones asociadas al cambio climático. Haciendo foco en la interpretación de las respuestas de la planta en ámbitos de abundancia y/o escasez de recursos, variaciones de temperaturas durante el ciclo del cultivo, entre otros. (Portela 2011; Ortega et al. 2018; Sánchez, Virosta y Sánchez Gómez 2019; Muhammad

Atif et al. 2020). Estas respuestas se han interpretados, en muchos casos, como modificaciones morfológicas de la planta y del rendimiento.

Por lo tanto, con la finalidad de analizar la relación que se estableció entre las covariables, vinculadas al crecimiento y desarrollo de la planta, y las variables respuestas afines al rendimiento se presenta los resultados obtenidos a partir del ajuste de regresión PLS (Figura 2.5). En el diagrama de dispersión los dos primeros ejes de la regresión PLS explicaron el 69,9% de la variabilidad total observada entre combinaciones de ambiente y población multiclinal (PM).

Hacia la margen izquierda del gráfico se observa a las covariables D80E y ST80E con mayor proyección sobre el eje 1 y fuertemente correlacionadas entre sí, debido al reducido ángulo de proyección. Se afirma que, estas covariables afectaron negativamente a las variables respuestas desplegadas en la margen derecha del gráfico (PMB, DMB, PBC). Además, las poblaciones multiclinales: Blanco tardío Sj 14 en todos los ambientes y Blanco tardío Sj7 en los ambientes 4, y 6 se ubicaron cercanas a estas covariables. Se deduce que tanto D80E como ST80E fueron las de mayor peso en la expresión de la variabilidad de estas poblaciones multiclinales en los mencionados ambientes. Fue mayor el número de días y la suma térmica hasta alcanzar el 80 % de las plantas emergidas (establecidas). Portela y Lucero, 2007 mencionan que prolongados periodos de emergencia, debido a condiciones desfavorables como bajas temperaturas, restricción en oferta de agua, afectan de manera negativa las siguientes etapas de crecimiento y desarrollo del cultivo provocando mermas en el rendimiento. También se encontró evidencia que estableció que altas densidades retrasan la emergencia de los bulbillos. Este retraso afecta negativamente el rendimiento debido a la reducción del tamaño y peso de los bulbos cosechados (Jiménez Velázquez et al. 2014). Se puede deducir que aquellos ambientes que involucraron un aumento en el número de plantas por unidad de superficie, como los ambientes 4, 5 y 6, fueron restrictivos en el establecimiento de las plantas. Puesto que, por efecto de la competencia intraespecífica, disminuye la disponibilidad de recursos. (Portela 1996). Este efecto se profundizo en las poblaciones multiclinales de origen mediterráneo.

Los puntos más sobresalientes (o más extremos) de la regresión PLS fueron en los en el ambiente 2 (100ETc y DS) y ambiente 1 (130ETc y DS) de la PM Blanco

temprano con vara floral. Estos puntos se asocian a mejores desempeños (altos valores de PMB, DMB y PBC) de esta población multiclinal en dichos ambientes. Y puede deberse a mayor altura de planta al día 216 (A216) y peso seco del bulbo al día 261 (PSB 261). Esta asociación se coligió de observar mayor proyección de la covariables A216 y PSB261 en el lado derecho del eje derecho 1.

Por otro lado, para este estudio se destacó que la condición de densidad de plantación fue más determinante que la disponibilidad de agua en las poblaciones de origen asiático. Es así como, y desde una mirada general, los ambientes de densidad simple quedaron del lado derecho del eje 1 y lo de densidad doble quedaron, mayoritariamente, del lado izquierdo o cerca al eje 1.

Las covariables AF261 y A261 resultaron importante para explicar la interacción entre la PM Blanco c/vara floral en los ambientes 4 y 5. Estas observaciones apoyan las afirmaciones de otras investigaciones que concluyeron que la altura de planta está relacionada positivamente con altos rendimientos, mayor peso de bulbo y mayor diámetro de bulbo (Santos Viera et al. 2021)

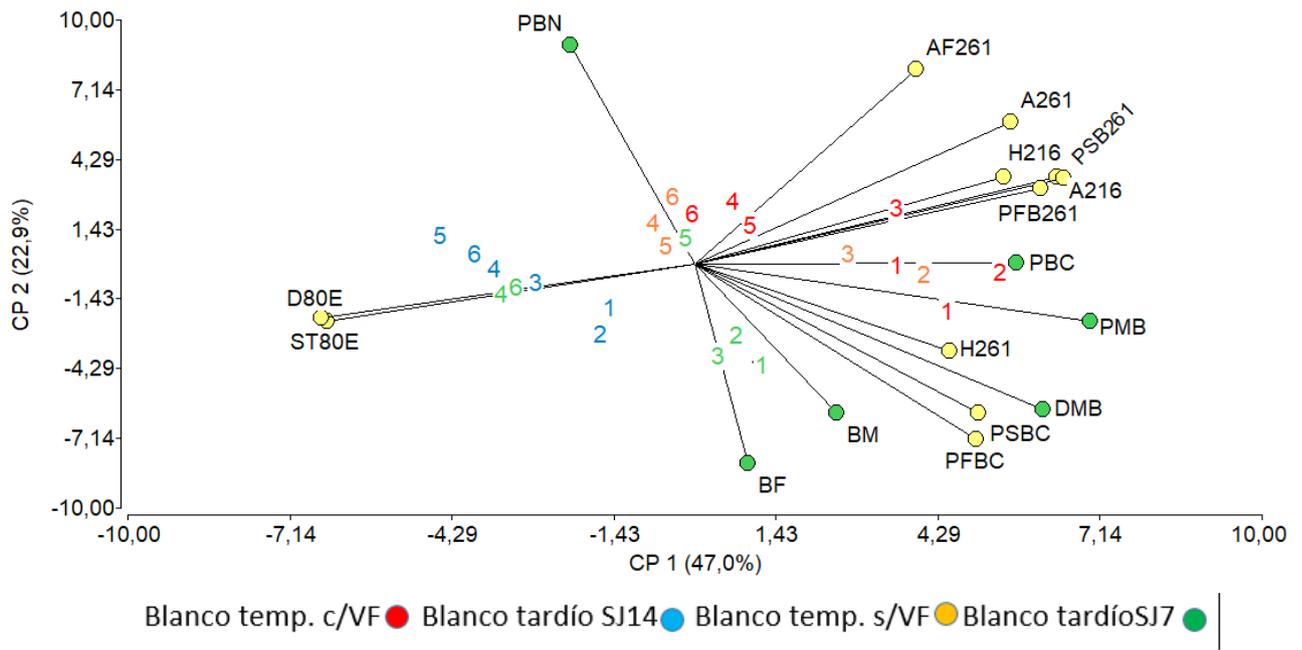


Figura 2.5: Diagrama de dispersión de los dos primeros factores generados por el análisis PLS con las variables dependientes.

Referencias: Peso medio del bulbo (PMB) Diámetro medio de bulbo (DMB), Proporción de bulbos comerciales (PBC), Proporción de bulbos normales (PBN), Número de bulbos Martillo (BM) y Número de bulbos fofos (BF); las covariables: Número de hoja verdes al día 216 (H216), Altura de planta al día 216 (A216), Número de hojas verdes a los 261 días (H261), Altura de la planta al día 261 días (A261) Área Foliar a los 261 días (AF261), Peso Fresco Bulbo a los 261 días (PFB261), Peso Seco del Bulbo a los 261 días (PSB261), Peso Fresco Bulbo a Cosecha (PFBC) Peso Seco Bulbo a Cosecha (PSBC), Días desde plantación hasta 80% de emergencia (D80E) y Suma térmica hasta el 80% de emergencia (ST80E), y la combinación ambiente\*variedad como variables de clasificación.

### 2.3.3. Rendimiento y sus componentes: Peso medio de bulbo, diámetro medio de bulbo, proporción de bulbos comerciales.

El rendimiento del cultivo de ajo se define por la cantidad y peso (biomasa) de bulbos cosechados por unidad de superficie. Además, se considera que estos bulbos deben cumplir con los estándares de comercialización vigentes, en cuanto a su aspecto se refiere. Este es la resultante final de las interacciones producidas en forma continua a través de su ciclo, entre genotipo, condiciones ambientales y manejo cultura (Hall 1979).

Para identificar las respuestas diferenciales entre las poblaciones multiclonales de ajos probadas dentro y entre condiciones de los ambientes propuestos se analizó:

### 2.3.3.1. Peso medio del bulbo:

Se registraron diferencias estadísticamente significativas entre las poblaciones multiclones de ajo ( $p=0,0430$ ) y entre ambientes ( $p<0,0001$ ) para la media de peso medio de bulbo (PMB). Además, se determinó que existe una relación lineal positiva significativa con el número de hojas verdes al día 216 (3,95). No se registró interacción estadísticamente significativa entre población multicloneal y ambiente, es decir que las diferencias observadas entre poblaciones multiclones se mantuvieron en los diferentes ambientes. La PM Blanco temprano sin vara floral fue la que mostró mayor peso de bulbo (70 g) siendo estadísticamente diferente a las otras tres (Tabla 2.11). Según bibliografía local (Portela 2022, 2013) los clones que pertenecen al GEIII (grupo ecofisiológico), como los ajos tipo comercial blancos tempranos y tardíos que aquí se estudiaron, se han caracterizado por adaptarse a climas templados. Sus ciclos de crecimiento se llevan a cabo durante el otoño e invierno. Algunas de las diferencias entre ambos subgrupos es que los de origen Pekinense (blancos tempranos) se cosechan de manera anticipada, que tienen un mayor rango de adaptación a climas templados y aprovechan mejor la primavera para el llenado del bulbo, que los de origen Sativum (blancos tardíos). Generalmente son más vigorosos, tienen mayor número de hoja, altura de planta si las temperaturas son las óptimas. Estas afirmaciones pueden justificar el mejor desempeño de los ajos Blanco Tempranos sin vara floral. Además, si bien, la diferencia entre las demás poblaciones no fue estadísticamente significativa se observó que los ajos blancos tempranos con vara floral (66,9 g) fueron sutilmente superiores a los ajos tardíos S<sub>j</sub>7 (65,9 g) y S<sub>j</sub>14 (61,9 g) (Tabla 2.11).

Tabla 2.11. Media del Peso medio de bulbo (g) ajustada por el modelo para cada población multiclones y cada ambiente.

Ambiente	Poblaciones Multiclones				Media
	Bco. Temp c/VF	Bco. Tardío Sj 14	Bco. Temp s/VF	Bco Tardío Sj 7	
1	66,2	64,7	77,8	73,7	70,6 b
2	79,6	72,9	80,3	75,1	77,0 a
3	74,8	64,9	79,8	58,3	71,5b
4	60,5	60,4	62,2	66,3	60,3 c
5	59,8	52,8	59,4	61,6	59,4 c
6	60,4	56,1	60,6	60,4	58,4 c
Media	66,9 b	61,9 b	70,0 a	65,9 b	

Medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes ( $p \geq 0,05$ )

Referencias: Bco.Temp.c/VF: población multiclone (PM) Blanco temprano con vara floral; Bco. Tardío Sj14: PM Blanco tardío Sj14; Bco temp s/VF: PM Blanco temprano sin vara floral, Bco. Tardío Sj 7: PM Blanco tardío Sj7. DS: densidad simple (280.000 plantas. ha<sup>-1</sup>); DD: densidad doble (560.000 plantas. ha<sup>-1</sup>); Ambiente 1: 130ETc en DS; Ambiente 2: 100ETc en DS; Ambiente 3: 70ETc en DS; Ambiente 4: 130 ETc en DD; Ambiente 5: 100ETc en DD; Ambiente 6: 70ETc en DD

Ahora bien, con respecto a los ambientes, es claro que la diferencia en términos de peso individual de los bulbos estuvo fuertemente relacionada a la densidad de plantación. Aquellos donde la densidad de plantación fue doble (ambientes 4, 5 y 6) el rendimiento individual de los bulbos fue menor (60,3 g; 59,4g; 58,4 g) (Tabla 2.11) diferenciándose estadísticamente del resto de los ambientes de densidades más bajas. Castellanos et al. (2004) en ensayos realizado con ajo tipo comercial morado (origen asiático; GE IIIa) y riego presurizado, comprobaron que al aumentar la densidad de plantación disminuía el tamaño individual de los bulbos a favor de un aumento del rendimiento total. Jiménez Vázquez et al. (2014) encontraron resultados similares en ajos morados (origen asiático; GE IIIa), riego por gravedad y las siguientes densidades: 333.000 plantas. ha<sup>-1</sup>; 285.710 plantas. ha<sup>-1</sup> y 250.000 plantas. ha<sup>-1</sup>, es decir a medida que las densidades de plantación fueron disminuyendo el rendimiento individual aumentaba. En cuanto a la oferta de agua no fue tan clara la respuesta de las poblaciones de ajo evaluadas. El ambiente 2(100ETc y DS) fue el que se destacó (PMB 77 g); le siguieron el ambiente 3 (70ETc y DS) con PMB 71,5 g y el ambiente 1 (130ETc y DS) con PMB de 70,6 g. Portela et al. (2017) afirman que para ajos tipo comercial banco tardío, castaños y colorados, aumentar la

reposición de agua por encima del 100% de ETc no logró mejoras considerables en el rendimiento, ni siquiera en las dobles densidades. En este estudio, las ofertas de agua (reposición de la lámina de riego) tanto por encima como por debajo del 100% de ETc significó menor rendimiento en los ambientes con densidades simples. Entre los ambientes con doble densidad no se registraron diferencias estadísticamente significativas.

#### 2.3.3.2. Diámetro medio de bulbo y calibre

Para el diámetro medio del bulbo (DMB) y calibre no se registró interacción estadísticamente significativa entre población multiclones y ambiente. Las diferencias fueron significativas entre poblaciones multiclones ( $p=0,0001$ ) y entre ambientes ( $p<0,0001$ ).

En el análisis de los calibres no se incluyeron a los bulbos calibres 3 y 9 debido a que no dieron diferencia significativa para ambiente ( $p= 0,0546$ ,  $p= 0,2224$ ). Los demás calibres (4, 5, 6, 7, 8) si registraron diferencias significativas entre poblaciones multiclones ( $p <0,0001$ ;  $p= 0,0009$ ;  $p <0,0001$ ;  $p <0,0001$ ;  $p<0,0001$  respectivamente) y entre ambientes ( $p <0,0001$ ;  $p <0,0001$ ;  $p <0,0001$ ;  $p <0,0001$ ;  $p <0,0001$  respectivamente).

Las PM Blanco tardío S<sub>j</sub> 7 y Blanco temprano s/VF mostraron diferencia significativa en relación con las otras dos cultivares, presentando un mayor diámetro medio (Tabla 2.12). Es decir, en cuanto al tamaño de los bulbos, se observó diferencia en la adaptación de las poblaciones multiclones a las condiciones locales y a los ambientes propuestas en este estudio. López Frasca y Portela (2006) también obtuvieron respuesta diferencial entre clones de GE III en distintas localidades de la provincia de Mendoza.

Tabla 2.12. Media del Diámetro medio de bulbo(cm) ajustada por el modelo para cada población multiclona y cada ambiente

Ambientes	Poblaciones Multiclonaes				Medias
	Bco. Temp. c/VF	Bco Tardío Sj 14	Bco. Temp. s/VF	Bco Tardío Sj 7	
1	6,6	6,1	7,1	7,1	6,4c
2	6,7	6,4	6,9	6,9	6,4c
3	6,7	6,1	6,9	6,7	6,4c
4	6,0	5,7	6,0	6,0	6,2b
5	5,9	5,8	6,0	6,1	6,2b
6	5,9	5,4	5,8	6,0	5.7a
Medias	6,3a	6,2a	6,6b	6,5b	

Medias con letra común no son significativamente diferentes ( $p \geq 0,05$ )

Referencias: Bco.Temp.c/VF: población multiclona (PM) Blanco temprano con vara floral; Bco. Tardío Sj14: PM Blanco tardío Sj14; Bco temp s/VF: PM Blanco temprano sin vara floral, Bco. Tardío Sj 7: PM Blanco tardío Sj7. DS: densidad simple (280.000 plantas. ha<sup>-1</sup>); DD: densidad doble (560.000 plantas. ha<sup>-1</sup>); Ambiente 1: 130ETc en DS; Ambiente 2: 100ETc en DS; Ambiente 3: 70ETc en DS; Ambiente 4: 130 ETc en DD; Ambiente 5: 100ETC en DD; Ambiente 6: 70ETc en DD

En el caso de los ambientes, el ambiente 6 es el que registro los menores diámetros de bulbos para todas las poblaciones multiclonaes, le siguieron los ambientes 4 y 5. En los ambientes 1, 2 y 3, este variable registro valores similares y mayor a los otros 3 ambientes (Tabla 2.12). Al igual que en el PMB, la densidad de plantación fue la condición ambiental que más influyo sobre esta variable respuesta, ya que los mayores diámetros se registraron en aquellos ambientes de densidad simple.

Cuando se analizó la distribución de los bulbos por calibres, los ajos Blancos tardíos SJ 7 exhibieron mayor porcentaje de calibres 7 y 8, el 55% de los bulbos se encontraron entre estos calibres y la menor proporción de ajos calibre 6 (27%). Siguiendo, en la PM Blanco temprano sin vara floral el 72,7 % de bulbos se distribuyeron entre los calibres 6 y7 y en menor proporción calibre 8. La PM Blanco temprano c/v floral concentra la distribución de los bulbos entre los calibres 6 y7 (81 %). Entretanto, en la PM Blanco tardío Sj14 los bulbos se encontraron entre los calibres 5, 6 y7 preferentemente. Aquí e destaca la mayor participación de bulbos en el calibre 5. Estos resultados apoyan la diferencia significativa observada en la variable DMB. (Tabla 2.13).

En cuanto al efecto de los ambientes sobre el calibre de los bulbos, y según la Tabla 2.13 se observó el desplazamiento hacia los calibres menores. Que, como se menciona en apartados anteriores, estuvo relacionado a la doble densidad. En los ambientes 4, 5 y 6 aumentaron los porcentajes de calibres 5 y 6 disminuyendo los calibres 7 y 8. Esto fue, de manera general, para todas las poblaciones multiclonales

El ambiente 6 contó con el mayor porcentaje de calibres 4 y 5 (30,4%) y un menor porcentaje de bulbos calibre 8 (0,1%), aunque sin diferencias significativas. Esto se relacionó a la menor media de DMB que obtuvo esta variable en este ambiente.

Tabla 2.13. Medias de los porcentajes de calibres ajustadas para cada población multiclonal y cada ambiente.

Pobl. Mult	%C4	%C5	%C6	%C7	%C8
Bco. Temp. c/VF	1,8a	12,3b	41,1c	39,8b	5,0a
Bco. Tardío Sj 14	5,6b	19,1a	50,1d	22,4a	1,0a
Bco. Temp. s/VF	2,0a	13,0b	34,0b	38,7b	11,3b
Bco. Tardío Sj 7	4,7b	13,0b	27,0a	40,1b	14,9b
Ambientes					
1	3,0abc	7,0a	27,0ab	45,1b	16,6b
2	1,4ab	6,0a	24,3a	54,0b	13,4b
3	2,4ab	6,8a	31,7b	46,2b	12,3b
4	4,8cd	20,0b	48,0c	23,3a	1,6a
5	3,9 bcd	20,6b	49,0c	21,0a	2,5a
6	5,0 d	25,4c	48,4c	21,1a	0,1a

Medias con letra común no son significativamente diferentes ( $p \geq 0,05$ )

Referencias: Bco.Temp.c/VF: población multiclonal (PM) Blanco temprano con vara floral; Bco. Tardío Sj14: PM Blanco tardío Sj14; Bco temp s/VF: PM Blanco temprano sin vara floral, Bco. Tardío Sj 7: PM Blanco tardío Sj7.DS: densidad simple (280.000 plantas. ha<sup>-1</sup>); DD: densidad doble (560.000 plantas. ha<sup>-1</sup>); Ambiente 1: 130ETc en DS; Ambiente 2: 100ETc en DS; Ambiente 3: 70ETc en DS; Ambiente 4: 130 ETc en DD; Ambiente 5: 100ETC en DD; Ambiente 6: 70ETc en DD

Ahora bien, la oferta de agua parece afectar el desarrollo del bulbo cuando la competencia intraespecífica se hizo más acentuada. Aunque, Lipinski et al. (2009) encontraron que, para ajos colorados y castaños, los niveles de estrés moderados no llegaron a afectar considerablemente el rendimiento. No encontraron diferencias significativas en el porcentaje de calibres de los bulbos causada por la restricción de agua. Pero, al igual que en este estudio, si

registraron diferencias en los calibres entre las cultivares probadas. Por el contrario, Lellis (2017) sí encuentra diferencias en tamaños de bulbos de ajos tipo comercial morado de las Pedroñeras (España). El autor menciona que, bajo tratamiento de riego deficitario controlado, en el segundo año de cultivo registro una variación desfavorable de rendimiento hacia los calibres de menor tamaño. Y que esta variación se dio en condiciones climáticas desfavorable (asociados a la temperatura). Fabeiro Cortes et al. (2003) también encontraron disminución de los calibres de mayor tamaño en condiciones de restricción hídrica en ajos tipo morado.

#### 2.3.3.3. Proporción de bulbos comerciales

Esta variable considera la proporción de bulbos, dentro de la totalidad de los bulbos cosechados, que representan la sumatoria de los calibres 5, 6, 7 y 8. Estos calibres son considerados como exportables. Es decir que todos los que están por debajo de estos calibres son descartados o no deseados para la comercialización con mercados externos. Otros autores (Lipinski y Gaviola, 2003; Aguado, 2015) han considerado dentro de esta variable solo a los calibres 5, 6 y 7. Probablemente porque las cultivares que fueron evaluadas por los autores no registraron bulbos calibres 8. Todas las poblaciones multiclonaes en la mayoría de los ambientes probados mostraron este tamaño de bulbo. Por otro lado, la presencia de calibres 8 en las poblaciones multiclonaes ajos blancos para la provincia de San Juan abona la hipótesis del mayor grado de adaptación de estos ajos a este ambiente (Sultan, 2000).

Tabla 2.14 Media de Proporción de bulbos comerciales ajustada por el modelo para cada población multiclonal y ambiente

Ambiente	Poblaciones Multiclones				Media
	Bco. Temp. c/VF	Bco. Tardío. Sj 14	Bco. Temp. s/VF	Bco. Tardío Sj 7	
1	0,95	0,92	0,98	0,95	0,95 b
2	0,98	0,96	0,99	0,98	0,98 a
3	0,95	0,94	0,99	0,96	0,96 b
4	0,95	0,95	0,94	0,88	0,93 b
5	0,99	0,93	0,97	0,94	0,95 b
6	0,97	0,89	0,95	0,92	0,94 b
Media	0,97 a	0,93 b	0,97 a	0,94 b	

Medias con letra común no son significativamente diferentes ( $p \geq 0,05$ )

Referencias: Bco.Temp.c/VF: población multiclonal (PM) Blanco temprano con vara floral; Bco. Tardío Sj14: PM Blanco tardío Sj14; Bco temp s/VF: PM Blanco temprano sin vara floral, Bco. Tardío Sj 7: PM Blanco tardío Sj7. DS: densidad simple (280.000 plantas. ha<sup>-1</sup>); DD: densidad doble (560.000 plantas. ha<sup>-1</sup>); Ambiente 1: 130ETc en DS; Ambiente 2: 100ETc en DS; Ambiente 3: 70ETc en DS; Ambiente 4: 130 ETc en DD; Ambiente 5: 100ETC en DD; Ambiente 6: 70ETc en DD.

Para comparar la proporción de bulbos comerciales entre poblaciones multiclonales y ambientes se ajustó un modelo heterocedástico para el factor variedad. Es decir, que se consideró en el modelo varianzas distintas para cada población multiclonal. Primero, se determinó que no se registraban covariables significativas, luego se verificaron los supuestos del modelo clásico y finalmente, utilizando el criterio de AIC se seleccionó el mejor modelo que resultó ser el de varianzas distintas entre variedades. En la Tabla 2.15 se muestran las varianzas estimadas para cada población multiclonal respecto a la proporción de bulbos comerciales. La PM Blanco temprano s/VF presenta un desvío que representa la mitad de las otras poblaciones, esto indicaría que la proporción de bulbos comerciales, a través de los ambientes, es más estable en esta población que en las otras.

Tabla 2.15. Desvíos estimados mediante el modelo heterocedástico para cada población multiclonal en relación con la variable proporción de bulbos comerciales

Población multiclonal	Desvío
Bco. Temp. c/VF	0,040
Bco. Tardío Sj14	0,047
Bco. Temp. s/VF	0,020
Bco. Tardío Sj 7	0,039

Referencias: Bco.Temp.c/VF: población multiclonal (PM) Blanco temprano con vara floral; Bco. Tardío Sj14: PM Blanco tardío Sj14; Bco temp s/VF: PM Blanco temprano sin vara floral, Bco. Tardío Sj 7: PM Blanco tardío Sj7.

Se registraron diferencias estadísticamente significativas entre poblaciones multiclones ( $p=0,0006$ ) y entre ambientes ( $p=0,0258$ ). Los ajos blancos tempranos con y sin vara floral mostraron mayor proporción de bulbos comerciales a través de todos los ambientes con una proporción media del 0,97 (Tabla 2.14). Además, estas poblaciones fueron las que obtuvieron mayor PMB y sus bulbos estuvieron distribuidos entre los calibres 6 y 7. Es evidente que estas poblaciones logran rendimientos superiores a los ajos Blanco tardío. También es conocido que la forma en la que responden a la interacción con los factores abióticos y bióticos (disponibilidad de recursos, competencia intra e interespecífica), los rasgos funcionales y las variaciones en los componentes del rendimiento depende del cultivar (Korres et al., 2016; Sánchez-Virosta, y Sánchez-Gómez,2019).

En cuanto a los ambientes, mayor disponibilidad de agua, superior al 100% de ETc de reposición no implica mayor rendimiento. (Portela et al., 2017). En este estudio se comprobó que aquellos ambientes que repusieron el 130 % de ETc con densidades dobles y simple obtuvieron las menores proporciones de bulbos comerciales. Por el contrario, el ambiente que se destaca en esta variable de manera significativa es el ambiente 2 que ofreció el 100% ETc a simple densidad de plantación (Tabla 2.14).

Es importante resaltar que todas las poblaciones multiclones de ajo blanco GE III dieron iguales o mayor proporción de bulbos comerciales que los presentados por otros autores y se destaca, dentro de estos, la proporción de bulbos calibre



2.3.4. Rendimiento y calidad de los bulbos: proporción de bulbos normales, presencia de malformaciones.

Como ya se ha mencionado, la productividad del cultivo puede quedar definida por el rendimiento y la calidad de los bulbos cosechados. A continuación, se analiza este último componente a partir de sus variables:

#### 2.3.4.1. Proporción de bulbos normales

En cuanto a los análisis estadísticos: no se registró interacción variedad-ambiente estadísticamente significativa ( $p=0,4555$ ). Las diferencias estadísticas se registraron entre ambientes ( $p=0,0048$ ) y entre poblaciones multiclonales ( $p=0,0016$ ). No hubo covariables que hayan correlacionado significativamente con la proporción de bulbos normales.

Ahora bien, según la Tabla 2.17 y analizando la comparación de medias de poblaciones multiclonales se observó que los bulbos cosechados de la PM Blancos tardío S<sub>j</sub> 7 mostraron la menor proporción de bulbos normales (0,72). Posiblemente la diversidad genética de esta población multiclinal haya expresado bulbos fuera del tipo considerado “normal” (Portela, 1997). Además, se ha mencionado que existe relación entre la presencia de anormalidades en bulbo de ajos y tamaño de los mismo. Silvestri et al. (2007) en ajos colorados encontraron que clones que tenían mayoritariamente ajos calibre 4 y 5 no presentaban anormalidades. En el caso de los ajos Blancos tardíos S<sub>j</sub> 7 los bulbos se distribuyeron mayoritariamente entre los calibres 6, 7 y 8. En tanto que las otras tres no se diferenciaron entre ellas. (Tabla 2.13).

Los ambientes 4, 5 y 6 presentaron medias de proporción de bulbos normales mayor a 0,85, siendo estadísticamente diferentes a los ambientes 1, 2 y 3 cuya media rondó una proporción de 0,75 (Tabla 2.17). Se infiere que las poblaciones multiclonales evaluadas respondieron mejor a las plantaciones de mayor densidad.

Tabla 2.17. Proporción de bulbos normales para cada población multiclonal y cada ambiente

Ambiente	Poblaciones Multiclonaes				Media
	Bco. Temp. c/VF	Bco. Tardío Sj 14	Bco. Temp. s/VF	Bco. Tardío Sj 7	
1	0,75	0,78	0,76	0,64	0,73 b
2	0,68	0,79	0,84	0,71	0,75 b
3	0,88	0,83	0,82	0,53	0,77 b
4	0,90	0,90	0,90	0,77	0,87 a
5	0,83	0,83	0,88	0,86	0,86 a
6	0,85	0,89	0,92	0,78	0,85 a
Media	0,81 a	0,84 a	0,85 a	0,72 b	

Medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes ( $p \geq 0,05$ )

Referencias: Bco.Temp.c/VF: población multiclonal (PM) Blanco temprano con vara floral; Bco. Tardío Sj14: PM Blanco tardío Sj14; Bco temp s/VF: PM Blanco temprano sin vara floral, Bco. Tardío Sj 7: PM Blanco tardío Sj7. DS: densidad simple (280.000 plantas. ha<sup>-1</sup>); DD: densidad doble (560.000 plantas. ha<sup>-1</sup>); Ambiente 1: 130ETc en DS; Ambiente 2: 100ETc en DS; Ambiente 3: 70ETc en DS; Ambiente 4: 130 ETc en DD; Ambiente 5: 100ETC en DD; Ambiente 6: 70ETc en DD.

#### 2.3.4.2. Ajos tipo martillo

Se registraron un total de 422 bulbos martillo. Los ajos Blancos temprano c/VF y los ajos Blanco tardío Sj14 presentaron los valores más altos de número de bulbo martillos (110 unidades cada uno). Le sigue la PM Blanco Tardío Sj7 (108). Por último, los ajos Blancos temprano s/VF registraron solo 94 unidades (Tabla 2.18). Este tipo de malformación es común en ajos blancos, los principales factores ambientales que promueven este crecimiento desigual del bulbo son la temperatura y el fotoperiodo (Portela, 1997). Aunque también se ha planteado la hipótesis de que otros factores ambientales, como la oferta de agua y de nitrógeno, pueden influir en la aparición de ajos martillos. En este caso no se ha encontrado asociación entre el ambiente y la población multiclonal en cuanto al número de bulbos martillo, esto se comprobó por la prueba estadística Chi-cuadrado ( $p=0,3841$ ).

Tabla 2.18. Número de bulbos martillo registrado en cada población multiclonal y ambiente

Población Multiclonal	Ambiente						Total
	1	2	3	4	5	6	
Bco. Temp. c/VF	24	25	17	16	14	14	110
Bco. Tardío Sj14	27	28	22	14	2	17	110
Bco. Temp. s/VF	20	20	17	15	10	12	94
Bco. Tardío Sj 7	17	21	19	23	13	15	108
Total	88	94	75	68	39	58	422

Referencias: Bco.Temp.c/VF: población multiclonal (PM) Blanco temprano con vara floral; Bco. Tardío Sj14: PM Blanco tardío Sj14; Bco temp s/VF: PM Blanco temprano sin vara floral, Bco. Tardío Sj 7: PM Blanco tardío Sj7. DS: densidad simple (280.000 plantas. ha<sup>-1</sup>); DD: densidad doble (560.000 plantas.ha<sup>-1</sup>); Ambiente 1: 130ETc en DS; Ambiente 2: 100ETc en DS; Ambiente 3: 70ETc en DS; Ambiente 4: 130 ETc en DD; Ambiente 5: 100ETC en DD; Ambiente 6: 70ETc en DD

#### 2.3.4.3. Ajos tipo fofó, poco firmes

En el ensayo se registró un total de 160 bulbos fofos. Todas las poblaciones multiclonales dieron este tipo de bulbos. La PM Blanco tardíos Sj7 fue la que presentó mayor número de ajo fofó (111), le siguieron la PM Blanco temprano s/VF, Blanco temprano c/VF, y por último los ajos Blanco tardío Sj14 con la menor cantidad de bulbos fofos, solo 10 unidades (Tabla 2.19). Se registró asociación estadísticamente significativa entre el ambiente y la variedad para el número de bulbos fofos, a partir de la prueba estadística Chi-Cuadrado ( $p=0,0028$ ). En la Figura 2.6 se presenta el gráfico de los residuos estandarizados de Pearson en el que se puede ver que la PM Blanco tardío Sj 7 es la que explica la asociación (residuos mayores a 2).

Si bien en este estudio no se evaluó la incidencia y severidad del rebrote, pero en función de la presencia de bulbos fofos y siguiendo las afirmaciones sobre la relación existente entre la presencia de bulbos fofos y el rebrote y de esta relación como indicador de adaptación del cultivar al ambiente, es que se infiere que la PM Blanco Tardío Sj7 sería la que peor se adaptó a las condiciones locales.

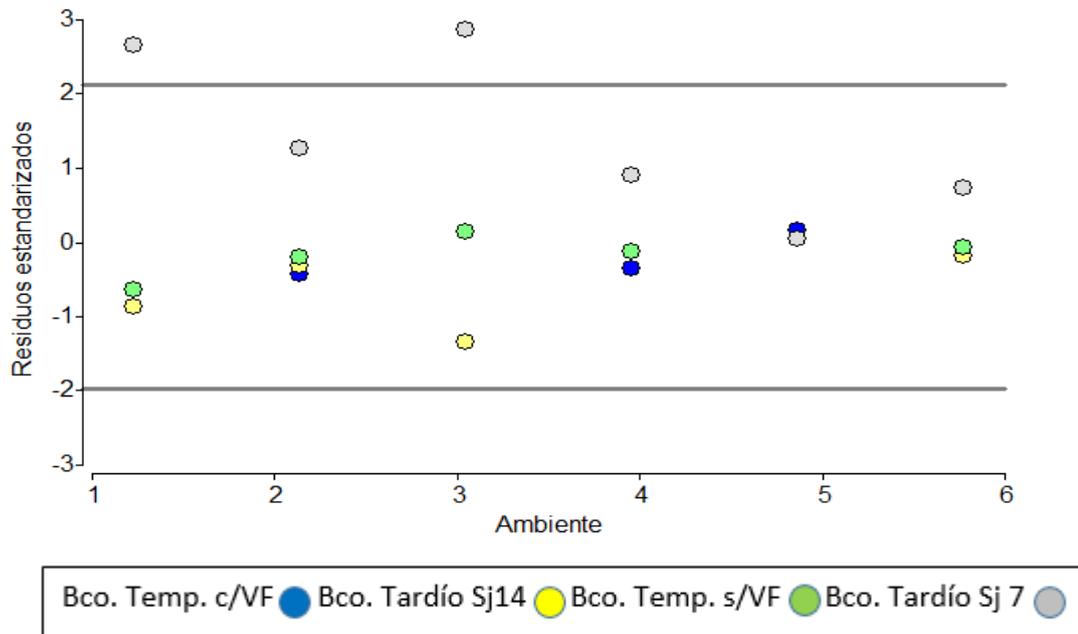


Figura 2.6. Residuos estandarizados de Pearson de número de bulbos fofos estimado para cada población multiclonal y cada ambiente. 6

Referencias: Bco.Temp.c/VF: población multiclonal (PM) Blanco temprano con vara floral; Bco. Tardío Sj14: PM Blanco tardío Sj14; Bco temp s/VF: PM Blanco temprano sin vara floral, Bco. Tardío Sj 7: PM Blanco tardío Sj7.

Ahora bien, según muestra la Tabla 2.19 los ambientes 1 y 3 resultaron los menos favorables para la producción de bulbos normales. Estos ambientes, con densidad simple de plantación ( $28 \text{ plantas.m}^{-2}$ ), 130ETc y 70ETc de reposición respectivamente ofrecieron las condiciones propicias para la manifestación de bulbos fofos entre los ambientes probados. Al respecto se ha mencionado que plantaciones con pocas plantas por unidad de superficie inciden sobre la calidad de luz que llega a la planta, aumenta la proporción de los que estimula la formación de bulbo. Este proceso se podría desarrollar con anticipación (en condiciones todavía óptima para el crecimiento vegetativo) desencadenado el rebrote, favoreciendo la formación de bulbos fofos. Por otro lado, se destaca que el ambiente 5 (100ETc de reposición y  $56 \text{ plantas.m}^{-2}$ ) manifestó un número mínimo de bulbos con defecto (1) de la población Blanco Temprano c/VF (Tabla 2.19). Portela (1999) menciona que la disponibilidad de agua alta o fluctuante, y la alta disponibilidad de nitrógeno o cambios instantáneos en sus concentraciones, inducen a una mayor severidad de plantas rebrotadas, junto con densidades de plantación bajas. De aquí se desprende que el ambiente 5 podría haber disminuido la posibilidad de plantas rebrotadas y así el número de bulbos malformados.

**Tabla 2.19.** Número de bulbos fofos registrado en cada población multiclonal y ambiente

Población Multiclonal	Ambiente						Total
	1	2	3	4	5	6	
Bco. Temp c/VF	5	2	0	4	1	0	12
Bco. Tardío Sj 14	5	3	0	2	0	0	10
Bco. Temp s/VF	7	4	13	2	0	1	27
Bco. Tardío Sj 7	37	17	36	11	0	10	111
<b>Total</b>	<b>54</b>	<b>26</b>	<b>49</b>	<b>19</b>	<b>1</b>	<b>11</b>	<b>160</b>

Referencias: Bco.Temp.c/VF: población multiclonal (PM) Blanco temprano con vara floral; Bco. Tardío Sj14: PM Blanco tardío Sj14; Bco temp s/VF: PM Blanco temprano sin vara floral, Bco. Tardío Sj 7: PM Blanco tardío Sj7. DS: densidad simple (280.000 plantas. ha<sup>-1</sup>); DD: densidad doble (560.000 plantas. ha<sup>-1</sup>); Ambiente 1: 130ETc en DS; Ambiente 2: 100ETc en DS; Ambiente 3: 70ETc en DS; Ambiente 4: 130 ETc en DD; Ambiente 5: 100ETC en DD; Ambiente 6: 70ETc en DD

Para comprender de una manera más cabal la respuesta de las poblaciones multiclonales estudiadas frente a la acción de los ambientes propuestos, es oportuno conocer cuáles fueron las variaciones en sus patrones de crecimiento y desarrollo.

### 2.3.5. Aspectos de crecimiento vegetativo y desarrollo de la planta de ajo

En el crecimiento de la planta de ajo se distinguen cuatro momentos según la tasa de aparición de hojas, altura de la planta, distribución y acumulación de biomasa. Estos momentos son crecimiento inicial, rápido crecimiento vegetativo, máximo crecimiento vegetativo y pérdida de peso (senescencia de las hojas). Los factores ambientales determinantes en la modulación de estas etapas son la temperatura y el fotoperiodo (Stahlschmidt y Cavagnaro, 1997; Portela, 2007, 2022). Aunque, también, hay referencias que afirman que otros factores ambientales (como la oferta agua, de nutrientes, la presencia de sales en la solución de suelo, la presión de factores bióticos, entre otros) influyen sobre el desempeño de la planta ajustando su respuesta final: el rendimiento (Portela 1996; Sultan, 2000; Sánchez -Virosta y Sánchez-Gómez, 2017) Este ajuste, generalmente, se manifiesta como cambios sutiles en algunos o varios de las

variables antes mencionadas (altura de planta, número de hojas, distribución de la biomasa), que permiten una mayor adaptación al entorno.

Teniendo en cuenta las etapas ecofisiológica del cultivo (Capítulo 1 .4), se analizó la variabilidad de los rasgos morfológicos y funcionales producto del efecto de los ambientes propuestos en las poblaciones multiclinales.

#### 2.3.5.1. Número de hojas verdes

El número de hojas verdes es una de las variables más utilizadas para describir la evolución del crecimiento de una planta de ajo (Portela 2007, 2013) también elegida al momento de relacionar el desempeño de las cultivares o nuevas poblaciones a una localidad dada. Generalmente se relaciona, junta con otras variables, con la productividad. Una de las razones es que ayuda a definir la capacidad fotosintética de la planta, es decir la capacidad de formación fotoasimilados que pueden abastecer al bulbo. Pero también con una importante variabilidad según las condiciones ambientales (Portela, 2013).

El modelo que mejor ajuste mostró (menor AIC) fue un modelo que estimó varianzas diferentes (heterocedástico) entre variedad y día. La correlación con el tiempo ( $\rho$ ) fue de 0,58.

Se registró interacción triple estadísticamente significativa ( $p=0,0001$ ), es decir que las diferencias observadas en el número de hojas verdes van cambiando según la población multiclinal que se mire, el ambiente y el tiempo. La interacción se visualiza en la Figura 2.8, donde se observa que las curvas de crecimiento de las poblaciones se van cruzando entre ellas en los diferentes ambientes.

Las PM Blanco temprano con y sin vara floral mostraron patrones similares en los diferentes ambientes. Alcanzan el máximo número de hoja alrededor del día 261. Para luego comenzar a descender hacia los días venideros. La población multiclinal Blanco temprano sin vara floral fue la que alcanzó el mayor número de hojas verdes y no presentó diferencias significativas entre ambientes en cuanto a las medias se refiere. No obstante, en términos de valor absoluto, los ambientes 1 y 2 fueron los de mayor media (8,1) y los ambientes 3 y 4 (7,5) los

de menor media. Para la PM Blanco temprano con vara floral el ambiente 6 fue el que se diferenció significativamente mostrando la media menor (7,1) (Tabla 2.20)

También se observó que todas las poblaciones multiclonales estuvieron afectadas negativamente por la doble densidad. En los ambientes 4, 5 y 6 se registraron menores valores absolutos en las medias de cantidad de hojas verdes (Tabla 2.20)

Las poblaciones Blanco tardío S<sub>j</sub>14 y S<sub>j</sub>7 se diferenciaron de las poblaciones tempranas, ya que ambas tuvieron el menor número de hojas verdes al día 161, esta tendencia se mantuvo hasta el día 195. La PM Blanco tardío S<sub>j</sub> 14 fue la que mantuvo un menor número de hojas verdes durante todo el ciclo y para todos los ambientes. Aunque, y a diferencia de las otras tres PM, al día 286 y en los ambientes 1,2,4,5 y 6 conservo el ritmo en la emisión de hojas. En cuanto a la PM Blanco Tardío S<sub>j</sub>7 en los ambientes 2,3 y 5 las curvas de número de hojas verdes fueron similares a las curvas de las PM tempranas (Figura 2.7).

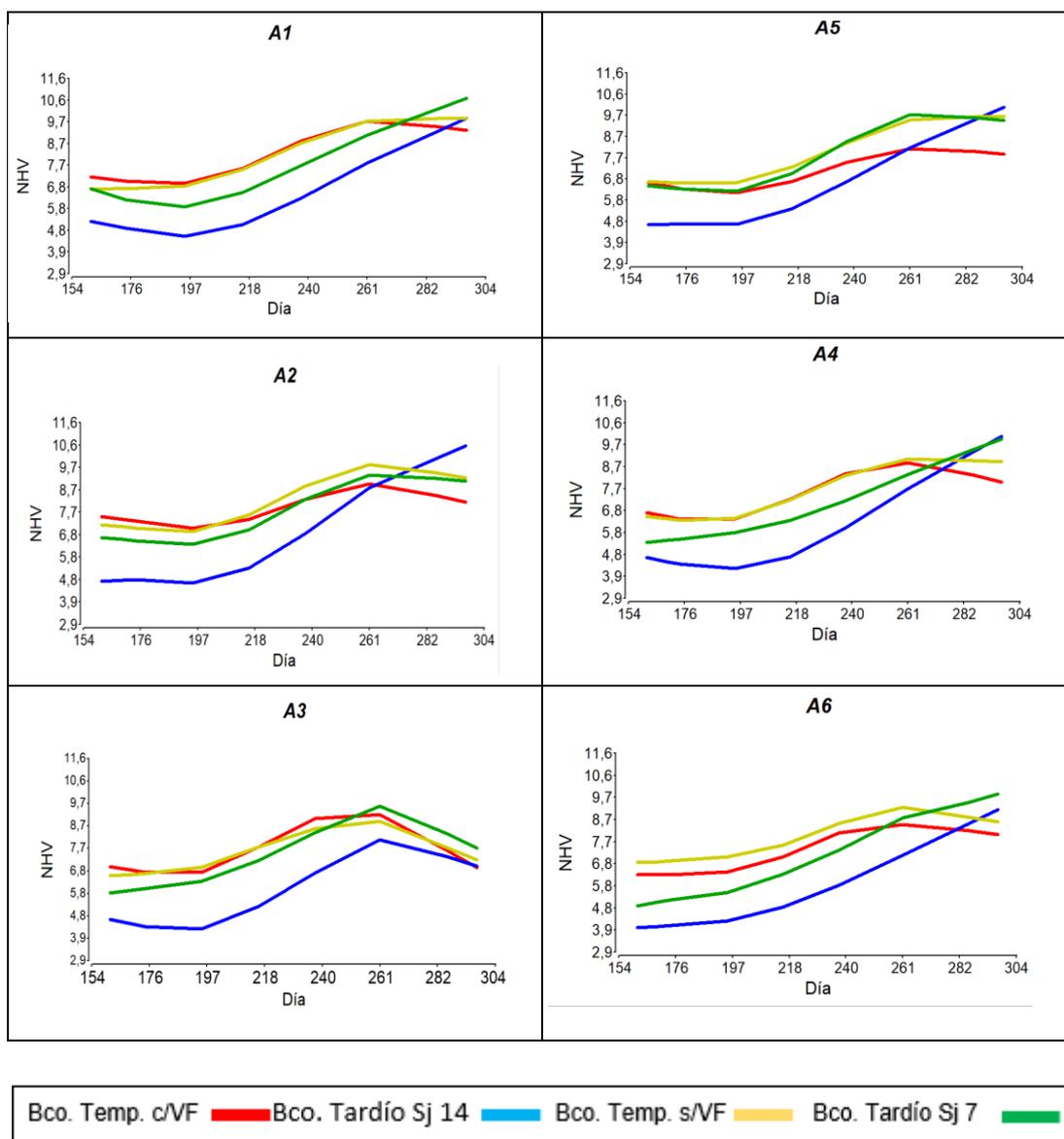
Continuando, la Figura 2.7 muestra que las poblaciones tardías, a partir de la fecha 261, tuvieron una tendencia superior en el ritmo de formación de hojas verdes. Esto se deduce de la intersección de las curvas, las curvas de las poblaciones tardías sobrepasan a las tempranas. Aunque en el ambiente 3 (70ETc y densidad simple) la PM Blanco Tardío S<sub>j</sub>14 no logro alcanzar a las otras, siendo en este ambiente el menor número de hoja (5,8) registrado para esta población (Tabla 2.20). Probablemente la oferta de agua fue la principal responsable de esta tendencia. En concordancia con esta afirmación, en la Tabla 2.20 se observa que en los ambientes 3, 4 y 6 (donde la oferta de agua estuvo por encima y por debajo de la óptima) la media de número de hoja fue menor en las poblaciones tardías.

Las diferencias entre las poblaciones multiclonales, en cuanto a los cambios en las variables de crecimiento, pueden deberse a varios motivos. Se menciona el origen de las poblaciones multiclonales (PM tempranas de origen *Pekinense* y PM tardías de origen *Sativum*) que determinan la variabilidad en el momento de inicio y periodo de cada etapa ecofisiológica (Portela, 2013). Además, según

Racca et al. (1981) y Takagi (1990), el ciclo del cultivo de ajo está controlado por la temperatura y la duración del día.

Por otro lado, y en líneas generales, la menor disponibilidad de agua por menor lámina aplicada o por mayor competencia entre plantas, resultó restrictiva para el número de hojas verdes en las cuatro poblaciones (Tabla 2.20). Además, según la Figura 2.7 entre las PM de ajo Blanco tardío se observaron cambios en el patrón de evolución de la variable número de hojas verdes, principalmente en el último tramo del período de cultivo y como consecuencia de una menor lámina de reposición (ambiente 3).

En este sentido, la restricción hídrica hizo que el número de hojas verdes comenzara a caer luego del día 261. Esto fue más marcado en la PM Blanco Tardío Sj7. La PM Blanco Tardío Sj14, por su parte, fue la que se mostró menos sensible a la menor disponibilidad de agua, consiguiendo mantener sus hojas verdes por más tiempo.



**Figura 2.7.** Evolución del número de hoja verde (NHV) por población multiclonal en los ambientes estudiados.

Referencias: Bco.Temp.c/VF: población multiclonal (PM) Blanco temprano con vara floral; Bco. Tardío Sj14: PM Blanco tardío Sj14; Bco temp s/VF: PM Blanco temprano sin vara floral, Bco. Tardío Sj 7: PM Blanco tardío Sj7.DS: densidad simple (280.000 plantas. ha<sup>-1</sup>); DD: densidad doble (560.000 plantas. ha<sup>-1</sup>); A 1: 130ETc en DS; A 2: 100ETc en DS; A 3: 70ETc en DS; A 4: 130 ETc en DD; A 5: 100ETC en DD; A 6: 70ETc en DD

Tabla 2.20. Número de hojas verdes de las poblaciones multiclonales a través de los días de crecimiento en cada ambiente.

Variedad	Día	Ambiente					
		1	2	3	4	5	6
Bco. Temp c/VF	161	7,1 b	7,3 b	6,9 b	6,7 b	6,0 c	6,6b
	169	7,3 b	7,6 a	7,3 b	6,5 b	6,6 b	6,5c
	174	7,0 b	7,7 a	6,1 c	6,4 b	6,4 b	6,3 c
	195	6,7 b	6,8 b	6,5 b	5,9 c	6,1 c	5,8 b
	216	7,3 b	7,1 b	7,4 b	6,8 b	7,0 b	6,6 a
	237	8,9 a	8,6 a	9,6 a	8,5 a	8,2 a	7,6 a
	261	10,3 a	9,3 a	10,0 a	9,4 a	9,3 a	8,5 a
	286	9,7 a	9,1 a	7,6 a	8,5 a	7,2 b	8,3 a
	297	8,9 a	7,6 a	6,8 b	7,8 a	8,7 a	7,6 a
Media Bco. Temp c/VF		8,1 a	7,9 a	7,6 a	7,4 a	7,3a	7,1 b
Bco. Tardío Sj 14	161	5,0 c	4,4 d	4,4 d	4,5 d	4,3 d	3,9 d
	169	5,3 c	5,0 c	5,2 c	4,8 c	5,0 c	4,3 d
	174	5,0 c	5,2 c	3,9 d	4,3 d	4,9 c	3,9 d
	195	4,3 d	4,6 d	3,9 d	3,8 d	4,4 d	4,3 d
	216	4,7 c	4,5 d	5,0 c	4,3 d	5,0 c	4,6 d
	237	6,4 b	7,2 b	6,8 b	5,6 c	6,9 b	5,9 c
	261	7,8 a	8,8 a	8,3 a	8,0 a	8,1 a	7,1 b
	286	9,6 a	10,6 a	10,0 a	9,6 a	9,7 a	8,5 a
	297	9,6 a	10,2 a	4,8 c	9,8 a	9,9 a	9,2 a
Media Bco.Tardío Sj 14		6,4 b	6,7 b	5,8 c	6,1 c	6,5 b	5,7 c
Bco. Temp. s/VF	161	6,5 b	6,9 b	6,7 b	6,3 b	6,6 b	6,8 b
	169	6,8 b	7,3 b	7,1 b	6,6 b	6,7 b	7,0 b
	174	6,8 b	7,3 b	5,8 c	6,4 b	6,6 b	6,7 b
	195	6,6 b	6,6 b	7,2 b	6,0 c	6,4 b	7,1 b
	216	7,3 b	7,2 b	7,2 b	6,7 b	7,0 b	7,3 b
	237	8,9 a	9,3 a	9,3 a	8,5 a	8,6 a	8,6 a
	261	10,1 a	10,2 a	9,3 a	9,3 a	9,8 a	9,8 a
	286	10,0 a	10,0 a	8,2 a	9,4 a	10,1 a	7,9 a
	297	9,6 a	8,7 a	6,8 b	8,5 a	9,2 a	9,2 a
Media Bco. Temp. s/VF		8,1 a	8,1 a	7,5 a	7,5 a	7,9 a	7,8 a
Bco. Tardío Sj 7	161	6,6 b	6,5 b	5,8 c	5,3 c	6,3 b	4,8 c
	169	6,2 c	6,6 b	6,2 c	5,7 c	6,5 b	5,2 c
	174	6,2 c	6,8 b	5,7 c	5,4 c	6,3 b	5,3 c
	195	5,5 c	6,1 c	6,5 b	5,7 c	6,0 c	5,6 c
	216	6,3 b	6,5 b	6,5 b	5,3 c	6,5 b	5,6 c
	237	7,8 a	8,5 a	8,9 a	7,0 b	8,8 a	8,1 a
	261	9,1 a	9,9 a	9,8 a	8,4 a	10,3 a	8,5 a
	286	10,4 a	9,4 a	10,6 a	9,8 a	10,0 a	9,4 a
	297	10,6 a	8,8 a	5,9 c	9,7 a	8,9 a	9,9 a
Media Bco. Tardío Sj 7		7,6 a	7,7 a	7,3 a	6,9 b	7,7 a	6,9 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

### 2.3.5.2. Altura de planta

La altura de planta es otra de las variables que permitió describir el crecimiento y su variabilidad entre poblaciones multiclonales y entre ambientes. Esta variable también ha sido elegida para explicar de manera directa o indirecta el rendimiento del cultivo de ajo (Portela 2007; Andrade Junior et al. 2018; Viera Santos 2021)

Para el análisis de esta variable el mejor modelo (menor AIC) fue el que explica los cambios en alturas de planta estimando la correlación entre mediciones del mismo bloque, población multiclona y ambiente en distintos tiempos. Dicha correlación ( $\rho$ ) fue 0,80. El modelo ajustó varianzas diferentes para cada combinación de población multiclona con el día.

Para la altura de planta, no se observó interacción triple (Cultivar\*Ambiente\*Día) estadísticamente significativa, esto es coincidente con lo observado en la [Figura 2.8](#) donde se observan curvas de crecimiento de las variedades casi paralelas en los distintos ambientes.

Resultaron significativas las interacciones dobles de población con el día y el ambiente con el día ( $p < 0,0001$ ). La interacción entre población y día indica que las diferencias observadas (entre las medias de altura entre poblaciones) en un momento del ciclo no son las mismas que las diferencias observadas en otro momento, esto sin tener en cuenta el ambiente. La interacción estadísticamente significativa entre las poblaciones multiclonales con el ambiente ( $p < 0,0001$ ), indica que las diferencias en altura observadas en un momento de medición son las mismas diferencias, entre ambientes, en otro momento del ciclo.

Tabla 2.21. Altura de planta (cm) a través de los días de crecimiento para las cuatro poblaciones multiclonales

Día	Bco Temp. c/VF	Bco Tardío SJ 14	Bco Temp. s/VF	Bco Tardío SJ7
161	42,7 f	39,4 h	41,9 g	39,9 h
169	41,6 g	37,4 i	40,7 g	39,5 h
174	41,0 g	36,2 j	40,3 h	38,3 i
195	41,8 g	35,8 j	41,0 g	38,2 i
216	42,5 f	33,7 j	41,3 g	37,5 i
237	50,3 e	37,2 i	49,3 e	44,1 f
261	79,4 b	65,5 d	77,4 b	71,0 c
286	98,4 a	90,4 a	99,9 a	94,3 a
297	97,6 a	91,3 a	98,1 a	94,9 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Las poblaciones multiclonales Blanco Temprano con y sin vara floral y Blanco Tardío Sj 14 y7 lograron similitud en las curvas de crecimiento (Figura 2.8). Las poblaciones Blanco Temprano con y sin vara floral fueron las de mayor altura al comienzo de las mediciones, aunque hacia el final todas las poblaciones alcanzaron alturas que no difieren entre ellas de manera significativa (Tabla 2.21). Esto incluye a la población multiclonal Blanco Tardío Ssj14, que fue la de menor altura (39,4 cm) al inicio (etapa crecimiento inicial vegetativo). El ritmo de crecimiento de esta variable es máximo entre los días 237 al 261 (máximo crecimiento vegetativo) para luego descender, tanto para los ajos Blanco Tardío Ssj14 como para el resto de las poblaciones estudiadas (Tabla 2.21).

Tabla 2.22. Altura de planta (cm) a través de los días de crecimiento para los seis ambientes evaluados.

Día	Ambiente 1	Ambiente 2	Ambiente 3	Ambiente 4	Ambiente 5	Ambiente 6
161	43,0 e	42,6 e	40,8 e	41,7 e	40,2 e	37,7 f
169	41,6 e	41,7 e	38,8 f	39,8 f	39,4 f	37,7 f
174	39,5 f	40,6 e	38 f	39,3 f	37,9 f	38,3 f
195	40,4 e	40,8 e	39,2 f	39,3 f	37,8 f	37,8 f
216	39,8 f	39,8 f	38,3 f	39,0 f	38,8 f	36,9 f
237	44,4 e	43,9 f	48,3 d	44,3 e	43,1 e	47,1 d
261	73,6 c	73,0 c	73,3 c	75,1 c	72,1 c	73,0 c
286	93,8 b	94,7 b	92,6 b	102,2 a	97,4 b	93,9 b
297	94,2 b	92,4 b	92,1 b	103,2 a	98,1 b	93,1 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

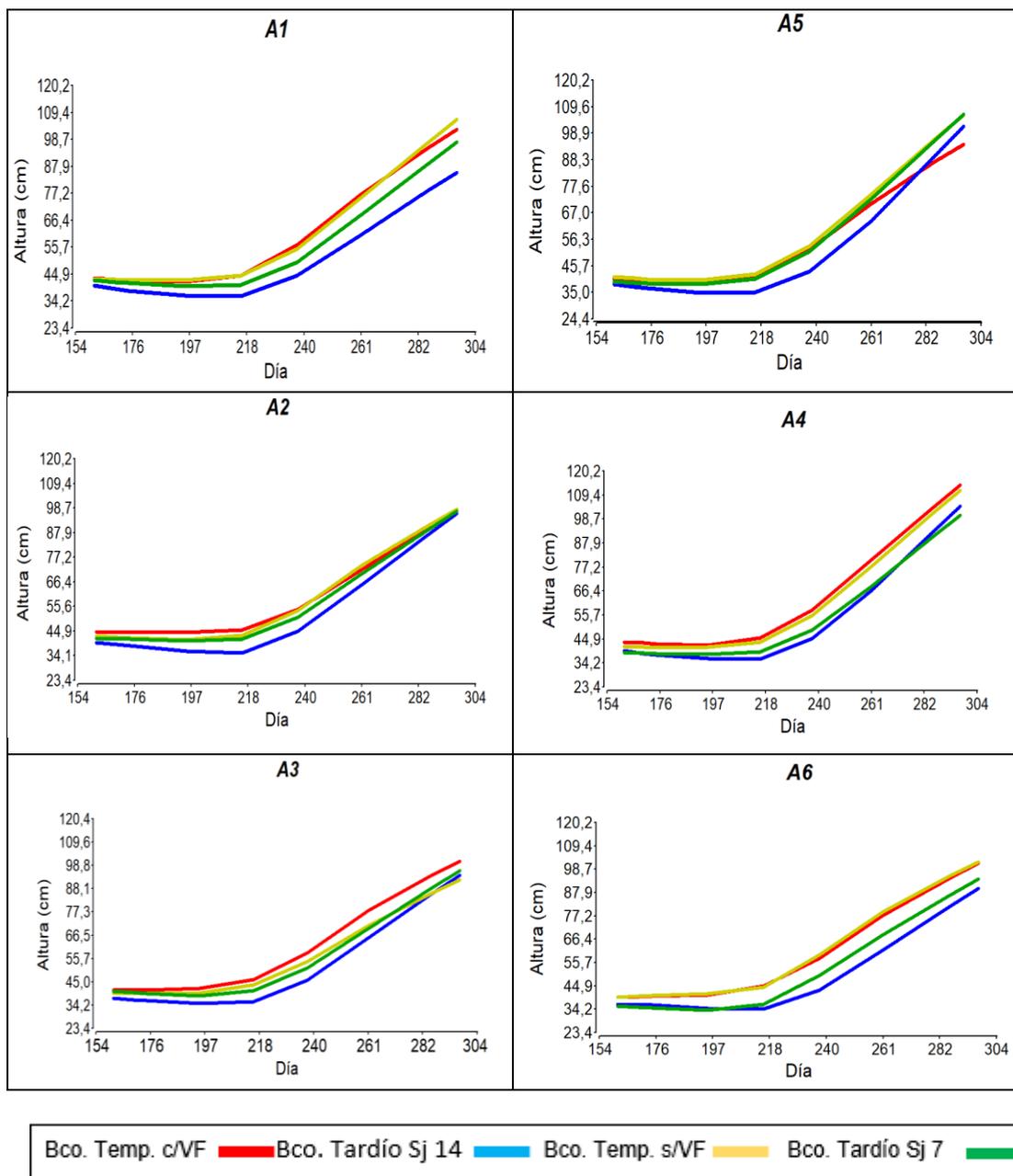


Figura 2.8 Evolución altura de planta (cm) por población multiclona en los ambientes estudiados. Referencias: Bco.Temp.c/VF: población multiclona (PM) Blanco temprano con vara floral; Bco. Tardío Sj14: PM Blanco tardío Sj14; Bco temp s/VF: PM Blanco temprano sin vara floral, Bco. Tardío Sj 7: PM Blanco tardío Sj7.DS: densidad simple (280.000 plantas. ha<sup>-1</sup>); DD: densidad doble (560.000 plantas. ha<sup>-1</sup>); A 1: 130ETc en DS; A 2: 100ETc en DS; A 3: 70ETc en DS; A 4: 130 ETc en DD; A 5: 100ETC en DD; A 6: 70ETc en DD

Para estudiar la interacción entre el ambiente y los días de crecimiento se presentan en la [Tabla 2.22](#) las medias con las letras que indica el resultado de la prueba de comparación de medias DGC. Aquí se destaca que aquellos ambientes con doble densidad (4, 5 y 6) tienen menor altura de planta al inicio de las mediciones (día 161) aunque esta tendencia no se mantuvo, al parecer la oferta de agua fue el factor de mayor peso que definió esta variable. La [Tabla](#)

2.22 muestra que el ambiente 4 fue el que alcanzó la mayor altura y se diferenció de los otros ambientes de forma significativa.

### 2.3.5.3. Evolución de la biomasa aérea total en tres momentos

A continuación, se presentan los resultados de la evolución de la biomasa total del vástago de la planta de ajo (i.e. no se consideran raíces), en tres momentos del período de cultivo. Estos momentos se los relacionó con las etapas ecofisiológicas para el grupo GEIII de Argentina (Portela 2007), a partir de contabilizar el número de hojas verdes (datos no presentados en este estudio). Los momentos fueron: a los 227 días<sup>3</sup>, etapa crecimiento inicial vegetativo, a los 270 días, etapa rápido crecimiento vegetativo y a los 318 días en senescencia.

La Tabla 2.23 muestra el peso seco total de las plantas de ajo a los 227 días. En esta etapa las poblaciones multiclinales tardías se diferencian de las tempranas por su menor peso. Esto tiene su correlato con menor número de hoja y altura de planta en las poblaciones tardías (Tablas 2.20 y 2.21). Ahora bien, en cuanto a los ambientes, comienzan a distinguirse (aunque no de forma significativa) aquellos ambientes relacionados a la densidad simple respecto a los de doble densidad. Las plantas que crecieron en los ambientes de densidad simple tuvieron mayor biomasa que aquellas que crecieron en los ambientes de doble densidad (Tabla 2.23).

Continuando, el ambiente 3 mostró los valores más altos de peso seco total en todos los ambientes y en las cuatro poblaciones multiclinales. Se induce que dado que se trata de la etapa inicial de crecimiento y que tiene lugar en la época de menor demanda hídrica del ambiente (fin de otoño-invierno), presumiblemente no sería la oferta de agua el principal factor implicado en esta respuesta. Aunque, Lipinski y Gaviola (2011) en evaluaciones de déficit hídrico controlado en diferentes etapas ecofisiológicas en ajo blanco y violeta encontraron que la respuesta estaba relacionada a la cultivar. Es así que, la cv Lican presentó la mayor pérdida de rendimiento cuando el déficit hídrico ocurrió en crecimiento vegetativo inicial.

---

<sup>3</sup> Se ha considerado al día 1 de enero como día 1.

A los 270 días, la planta de ajo se encuentra en una etapa de rápido crecimiento vegetativo e involucra aumento en los ritmos de crecimiento de altura de planta, aparición de hojas y acumulación de biomasa (Portela, 2013). Coincidiendo con esta afirmación la Tabla 2.24 muestra un aumento en la acumulación de biomasa total. Además, en comparación a la etapa anterior, si bien se mantuvieron las diferencias entre tipos comerciales tempranos y tardíos y entre ambientes, la brecha que marco la desigualdad entre ellos se redujo (Tablas 2.23 y 2.24).

Tabla 2.23. Peso seco total de vástago (g) a los 227 días ajustadas por población multiclonal y ambiente.

Ambiente	Poblaciones Multiclinales				Media
	Bco. Temp. c/VF	Bco. Tardío Sj 14	Bco. Temp. s/VF	Bco. Tardío Sj 7	
1	5,12	2,25	6,79	3,38	4,4 ab
2	8,36	2,88	6,35	5,12	5,7 bc
3	7,76	3,62	9,05	7,29	6,9 c
4	5,64	2,08	4,88	0,61	3,3 a
5	6,95	1,22	6,8	4,12	4,7 ab
6	6,9	2,09	4,42	2,16	3,9 a
Media	6,79 b	2,36 a	6,39 b	3,78 a	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

Referencias: Bco.Temp.c/VF: población multiclonal (PM) Blanco temprano con vara floral; Bco. Tardío Sj14: PM Blanco tardío Sj14; Bco temp s/VF: PM Blanco temprano sin vara floral, Bco. Tardío Sj 7: PM Blanco tardío Sj7. DS: densidad simple (280.000 plantas. ha<sup>-1</sup>); DD: densidad doble (560.000 plantas. ha<sup>-1</sup>); Ambiente 1: 130ETc en DS; Ambiente 2: 100ETc en DS; Ambiente 3: 70ETc en DS; Ambiente 4: 130 ETc en DD; Ambiente 5: 100ETC en DD; Ambiente 6: 70ETc en DD.

Por otro lado, según Tabla 2.24 el ambiente 4 se diferenció significativamente del resto con el menor peso seco (13,20 g). En este estudio, un aumento en la oferta de agua no significó un aumento en el peso seco. Esta situación parece agravarse cuando el número de plantas por unidad de superficie aumenta.

Otra característica que se destacó fue que las cultivares de mayor vigor mantuvieron este aumento en el vigor, inclusive en aquellos ambientes de escasez como el 3 y 6 (Tabla 2.24).

Tabla 2.24. Peso seco total de vástago (g) a los 270 días ajustadas para poblaciones multiclonales y ambientes.

Ambiente	Poblaciones Multiclonales				Media
	Bco. Temp. c/VF	Bco. Tardío Sj 14	Bco. Temp. s/VF	Bco Tardío Sj 7	
1	19,2	16,2	16,7	13,0	16,3b
2	23,1	13,5	21,8	16,6	18,7bc
3	26,0	14,8	21,1	16,1	19,5c
4	15,1	10,7	14,5	12,5	13,2 a
5	20,2	14,2	18,2	18,6	17,8bc
6	19,2	15,8	18,7	19,2	18,2bc
Media	20,5b	14,2 a	18,5b	16,0 a	

Medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes ( $p \geq 0,05$ )

Referencias: Bco.Temp.c/VF: población multiclonal (PM) Blanco temprano con vara floral; Bco. Tardío Sj14: PM Blanco tardío Sj14; Bco temp s/VF: PM Blanco temprano sin vara floral, Bco. Tardío Sj 7: PM Blanco tardío Sj7. DS: densidad simple (280.000 plantas. ha<sup>-1</sup>); DD: densidad doble (560.000 plantas. ha<sup>-1</sup>); Ambiente 1: 130ETc en DS; Ambiente 2: 100ETc en DS; Ambiente 3: 70ETc en DS; Ambiente 4: 130 ETc en DD; Ambiente 5: 100ETC en DD; Ambiente 6: 70ETc en DD.

Hacia el final de ciclo las poblaciones parecen compensar las diferencias entre ella, en cuanto a la acumulación de biomasa total (Tabla 2.25). En este momento de senescencia de la parte aérea la porción subterránea de la planta está en etapa de crecimiento final de bulbo. En comparación entre poblaciones multiclonales solo Blanco Tardío Sj14 se diferencia del resto con el peso seco más bajo (35,40 g) en todos los ambientes. Blanco Tardío Sj7 logró alcanzar a las poblaciones tempranas, ya que el peso seco final no se diferenció significativamente de éstas (Tabla 2.25). Esta evidencia podría dar indicio de que esta población multiclonal aprovecha los últimos 40 días de ciclo para acumulación de biomasa total (Stahlschmidt y Cavagnaro,1997)

En la Tabla 2.25 se observa que hacía final de ciclo se marcaron diferencias en crecimiento entre aquellos ambientes de mayor densidad respecto de los ambientes de densidad simple. Se diferencian de manera estadísticamente significativa los ambientes 1 y 2 con valores más altos de peso seco total (Tabla 2. 25).

Tabla 2.25. Peso seco total de planta (g) a los 318 días ajustadas para poblaciones multiclonales y ambientes.

Ambiente	Poblaciones Multiclonales				Media
	Bco. Temp. c/VF	Bco. Tardío Sj 14	Bco. Temp. s/VF	Bco. Tardío Sj 7	
1	50,7	40,5	60,2	43,3	48,7b
2	63,5	44,1	53,4	51,7	53,1b
3	35,3	33,1	43,9	42,0	38, 6a
4	39,4	29,5	32,1	31,2	33, 0a
5	33,4	30,4	38,9	40,3	35, 7a
6	32,6	34,9	29,5	37,4	33,6 a
Media	42,5b	35, 4a	43,0b	41,0b	

Medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes ( $p \geq 0,05$ )

Referencias: Bco.Temp.c/VF: población multiclonal (PM) Blanco temprano con vara floral; Bco. Tardío Sj14: PM Blanco tardío Sj14; Bco temp s/VF: PM Blanco temprano sin vara floral, Bco. Tardío Sj 7: PM Blanco tardío Sj7. DS: densidad simple (280.000 plantas. ha<sup>-1</sup>); DD: densidad doble (560.000 plantas. ha<sup>-1</sup>); Ambiente 1: 130ETc en DS; Ambiente 2: 100ETc en DS; Ambiente 3: 70ETc en DS; Ambiente 4: 130 ETc en DD; Ambiente 5: 100ETC en DD; Ambiente 6: 70ETc en DD.4.4

#### 2.3.5.4. Evolución de la biomasa foliar y de bulbo en tres momentos

En cuanto a la evolución de la biomasa foliar, las 4 poblaciones multiclonales desarrollaron patrones similares a lo largo del ciclo. Según Portela (2003) se diferencian 4 fases de crecimiento de la porción área de la planta. En este estudio se distinguen 3 de las 4 fases, descritas en el apartado anterior (2.3.5.3). De forma resumida se diferenciaron: al inicio (227 días) por lenta acumulación de biomasa foliar, y hacia el día 270 por máxima acumulación de biomasa, para disminuir luego el ritmo de acumulación de biomasa (senescencia).

Como se puede ver en la Figura 2.9 cada población multiclonal moduló el crecimiento de la lámina foliar con ritmos diferenciales. Esta afirmación se apoya en las pendientes de las rectas de cada población multiclonal para cada ambiente. También se observó que en aquellos ambientes que limitan la oferta de agua (3 y 6) las poblaciones tempranas y tardías tuvieron mayor pérdida de biomasa foliar hacia final de ciclo. Mientras que en aquellos ambientes que ofrecieron mayor disponibilidad de agua (1 y 4), la pérdida de peso seco hacia la etapa de senescencia es más lenta, probablemente, alargando esta última etapa

y así modular el rendimiento potencial de cada población multiclona. Se resalta la importancia de estudiar la evolución de la biomasa de la lámina foliar porque forma parte del aparato fotosintético de la planta, estrechamente relacionada con el rendimiento potencial del cultivo (Stachlschmidt et al. 1997; Portela 2013). La disponibilidad de agua y la densidad de plantación influyen en el establecimiento de número de hojas, y la duración del área fotosintéticamente activa que se ve reflejado en la variabilidad de la biomasa foliar.

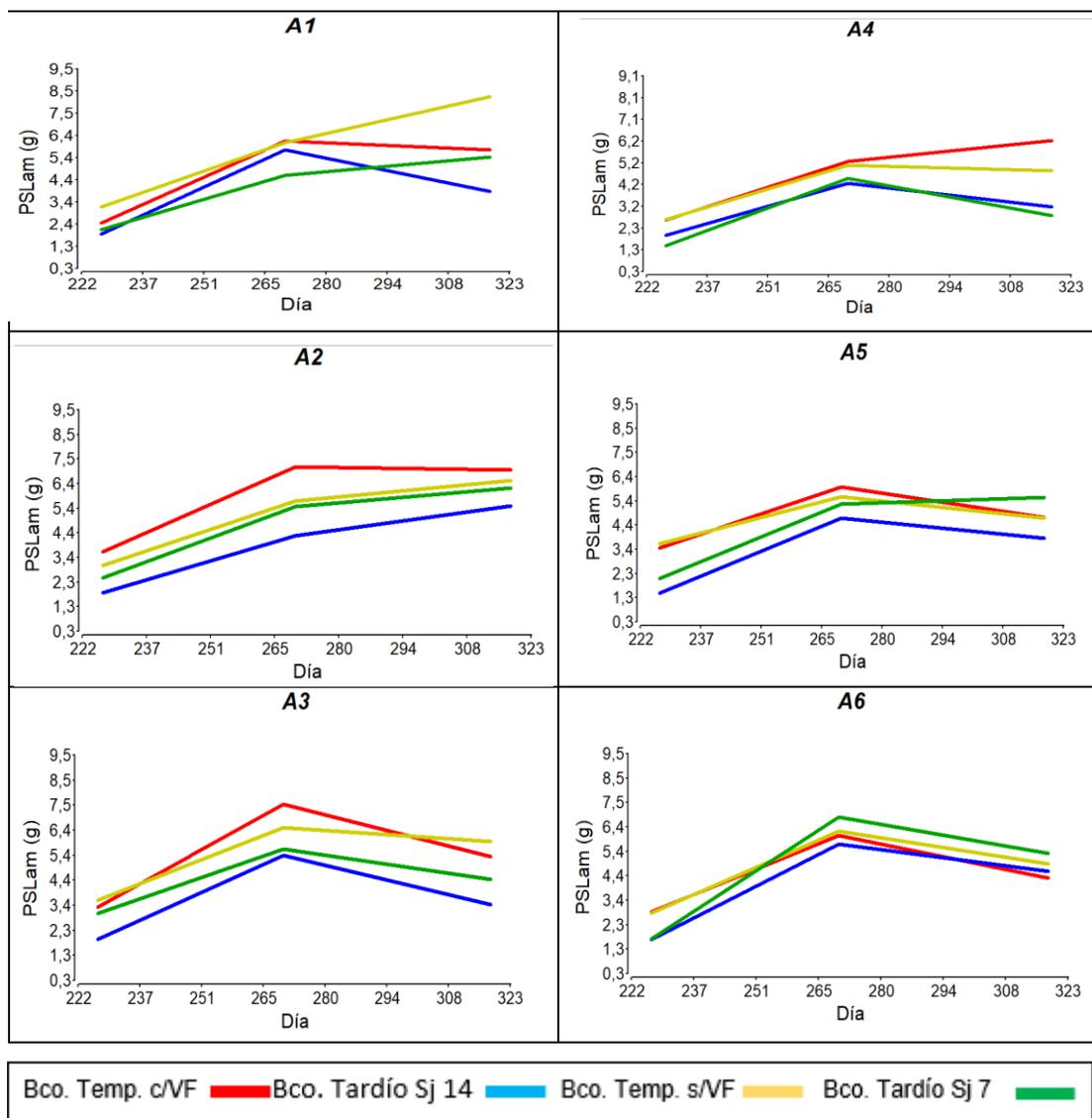


Figura 2.9. Evolución del peso seco de la lámina foliar (g) para los seis ambientes de las cuatro poblaciones multiclona en estudio.

Referencias: Bco.Temp.c/VF: población multiclona (PM) Blanco temprano con vara floral; Bco. Tardío Sj14: PM Blanco tardío Sj14; Bco temp s/VF: PM Blanco temprano sin vara floral; Bco. Tardío Sj 7: PM Blanco tardío Sj7.DS: densidad simple (280.000 plantas. ha<sup>-1</sup>); DD: densidad doble (560.000 plantas. ha<sup>-1</sup>); A 1: 130ETc en DS; A 2: 100ETc en DS; A 3: 70ETc en DS; A 4: 130 ETc en DD; A 5: 100ETC en DD; A 6: 70ETc en DD

Además, en los ambientes 1, 2 y 4 relacionados a una mayor oferta hídrica no es tan claro el patrón de respuesta. Es decir, algunas poblaciones multiclonales en algunos de estos ambientes alcanzaron una mínima ganancia de peso hacia el final de ciclo (Figura 2.9).

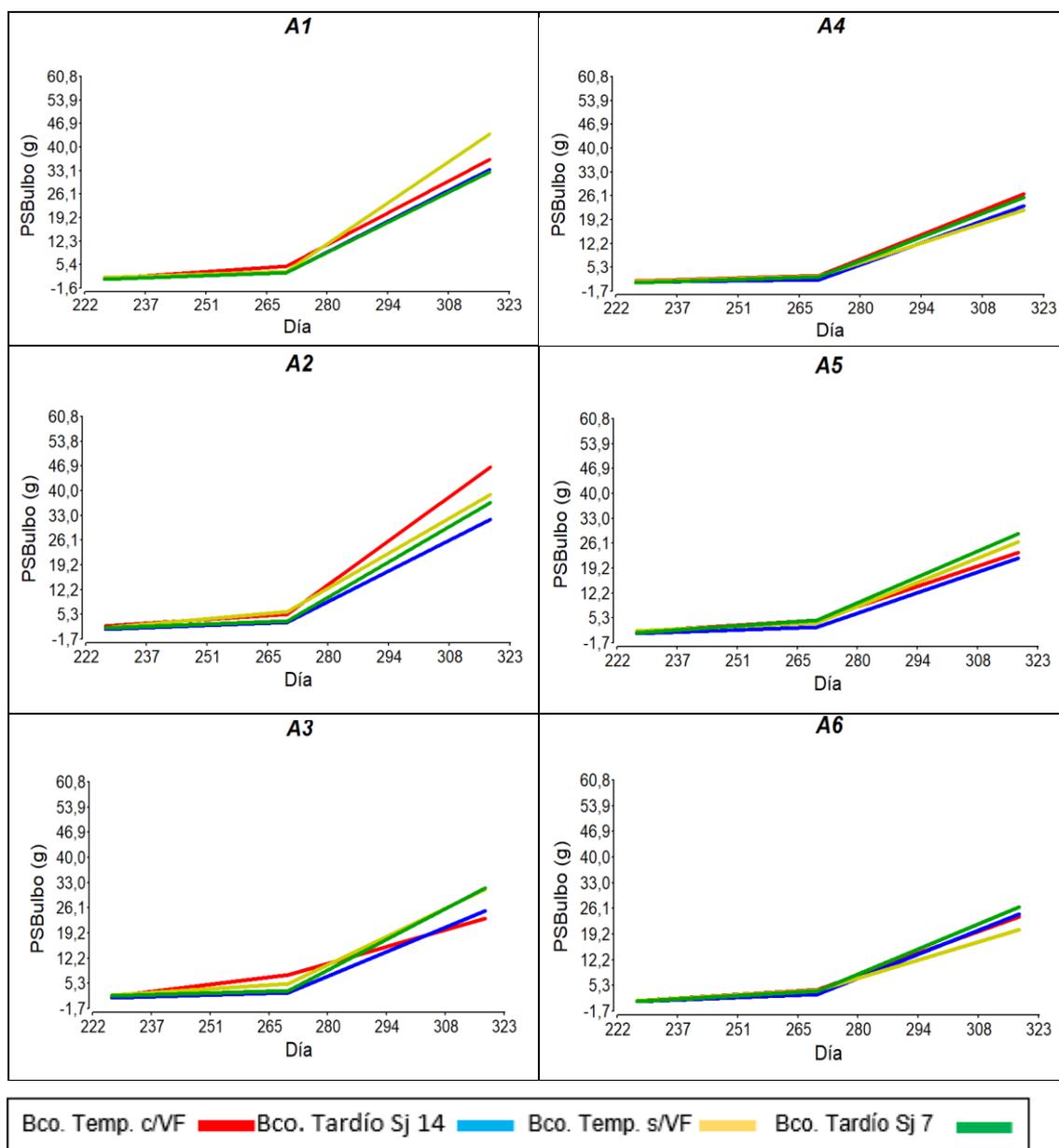


Figura 2.10. Evolución del peso seco de bulbo (g) en tres momentos para las cuatro poblaciones multiclonales en los seis ambientes.

Referencias: Bco.Temp.c/VF: población multiclonal (PM) Blanco temprano con vara floral; Bco. Tardío Sj14: PM Blanco tardío Sj14; Bco temp s/VF: PM Blanco temprano sin vara floral, Bco. Tardío Sj 7: PM Blanco tardío Sj7.DS: densidad simple (280.000 plantas. ha<sup>-1</sup>); DD: densidad doble (560.000 plantas. ha<sup>-1</sup>); A 1: 130ETc en DS; A 2: 100ETc en DS; A 3: 70ETc en DS; A 4: 130 ETc en DD; A 5: 100ETC en DD; A 6: 70ETc en DD

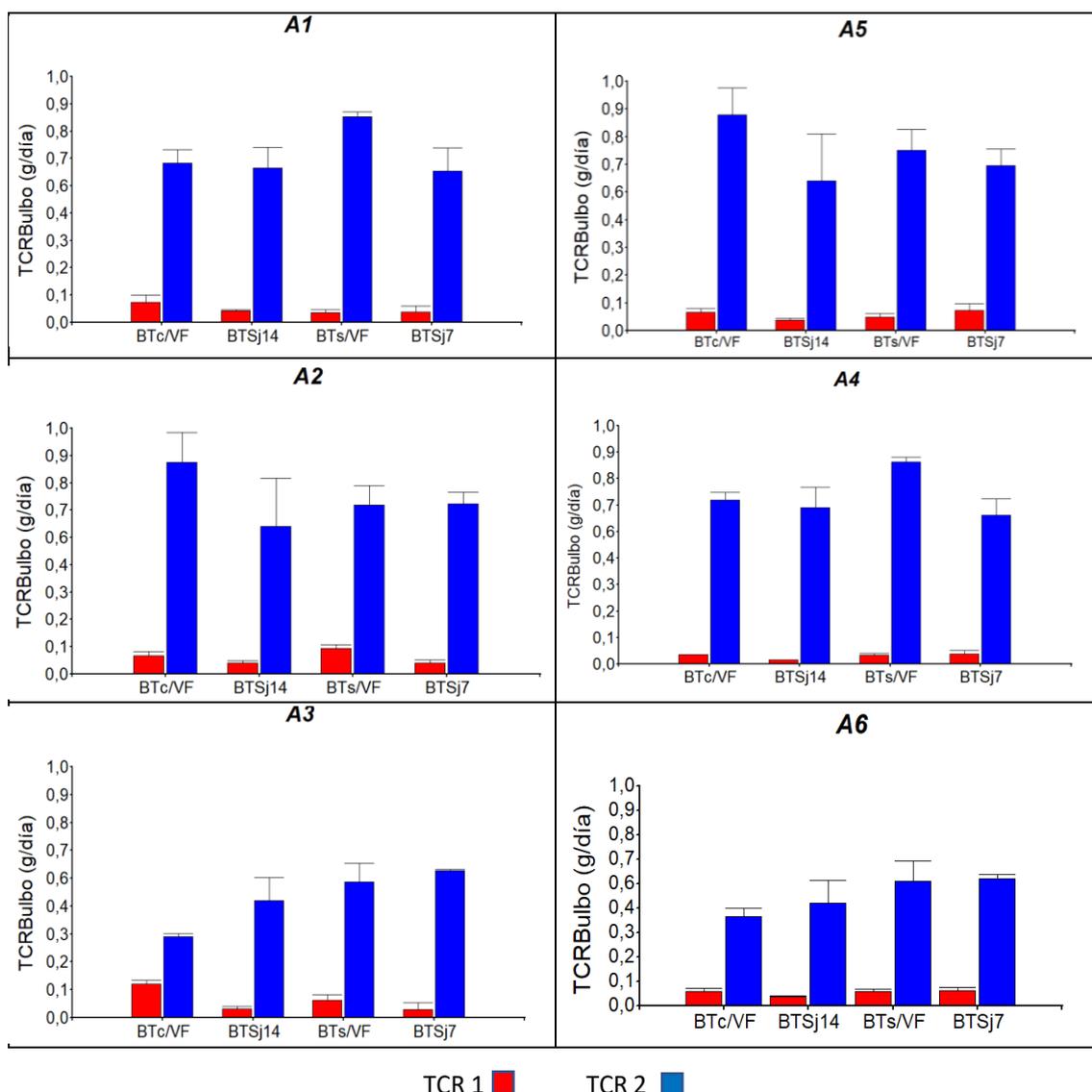
Portela y Cavagnaro (2003) distinguen cuatro fases en la evolución de materia seca del bulbo. La Figura 2.10 muestra la evolución de la biomasa del bulbo de

las poblaciones multiclonales estudiadas en tres momentos para los seis ambientes. Aquí se diferenciaron dos de las cuatro fases con un punto de inflexión alrededor del día 270. En todos los ambientes, se observó que a partir de dicho momento de inflexión la tasa de acumulación de materia seca del bulbo aumentó. Además, la diversidad en la respuesta a los ambientes en esta variable fue menor.

Ahora bien, en cuanto a las poblaciones multiclonales, Blanco temprano s/VF presentó la mayor variabilidad en la acumulación de biomasa del bulbo en los ambientes. Esta PM tuvo el mayor ritmo de incremento de biomasa del bulbo en el ambiente 1 a partir del día 270, pero también el peor en el ambiente 6. Esta respuesta puede indicar que esta PM logró mejor desempeño en ambientes sin restricciones hídricas.

La [Figura 2.11](#) muestra la tasa de crecimiento relativo (TCR) tomado entre dos etapas de crecimiento de bulbo para las 4 poblaciones multiclonales en los 6 ambientes. Esta variable reflejó el ritmo de acumulación de biomasa de bulbo ( $\text{g} \cdot \text{día}^{-1}$ ) en los periodos de días 227 a 270 (TRC1) y entre los días 270 a 318 (TRC2). La TRC1 corresponde a la etapa de crecimiento inicial del bulbo, es significativamente menor a la TRC2, lo que coincide con las afirmaciones de otros autores (Stahlschmidt y Cavagnaro 1997; Portela 2003; Aguado 2015). A pesar de esto, se distingue que en los ambientes de menor densidad la TCR 1 fue levemente mayor que en los ambientes más densos. Es así que se sugiere que el ritmo de acumulación de biomasa en esta primera etapa de crecimiento de bulbo (TCR1) se condiciona con la proximidad entre planta (efecto de la competencia intraespecífica) (Portela, 1996).

En la segunda etapa, la población multiclinal Blanco temprano s/VF tuvo mejor adaptación en los ambientes de mayor disponibilidad de agua (1 y 4) en términos de acumulación de materia seca, coincidentemente con lo destacado más arriba, ya que la TCR fue mayor en estos ambientes. Además, y siguiendo este mismo criterio, la TCR fue levemente superior en los ambientes 3 y 6 para la PM Blanco tardío S<sub>j</sub> 7 ([Figura 2.11](#)).



**Figura 2.11.** Tasa relativa de crecimiento del bulbo (TCR bulbo) (g/día) para dos periodos de evolución de biomasa de bulbo  
Referencias: BTc/VF: PM Blanco Temprano c/VF; BT Sj14:PM Blanco Tardío Sj 14 BTs/VF: PM Blanco Temprano s/VF; BTSj7: PM Blanco Tardío Sj 7; A1: 130ETc y DS; A2: 100ETc y DS; A3: 70ETc y DS; A 4: 130 ETc y DD; A 5: 100ETc y DD; A 6:70ETc y DD.

## 6. Eficiencia en el uso del agua

En un primer análisis de la EUA, se registraron diferencias significativas entre las poblaciones multiclonales de ajo ( $p < 0,0001$ ) y entre ambientes ( $p < 0,0001$ ). No se registró interacción entre población multiclona y ambiente, por lo tanto, las diferencias observadas entre poblaciones multiclonales se mantuvieron en los distintos ambientes.

En cuanto a las poblaciones multiclonales, Blanco tardío Sj 14 se diferencia de forma significativa del resto de las poblaciones en esta variable, presento el valor más bajo de EUA ( $33.2 \text{ kg/mm}^{-1}$ ). La PM Blanco temprano s/VF obtuvo el mejor valor de EUA ( $43.3 \text{ kg/mm}^{-1}$ ), aunque la diferencia estadística no fue significativa comparada con las PM Blanco temprano c/VF y Blanco tardío Sj 7 . Estas respuestas están relacionadas con el desempeño, en términos de rendimiento, de las poblaciones multiclonales que se destacan (Tabla 2.26)

Entre los ambientes, el 6 fue el que logró el mayor valor para esta variable, es decir que se obtuvo la mayor eficiencia en el uso del agua en el ambiente que proponía la menor lámina de reposición con la doble densidad. Estos resultados coinciden con los reportados por Lipinski y Gaviola de Heras (2013)

Tabla 2.26. Eficiencia en el uso del agua (EUA) ( $\text{kg.mm}^{-1}$ ) de las poblaciones multiclonales por ambiente.

P M	Ambiente						Total
	1	2	3	4	5	6	
Bco. Temp c/VF	23,3	33,6	41,2	41,5	48,8	62,8	41,9 bc
Bco. Tardío Sj 14	19,7	26,8	30,7	33,8	37,3	50,8	33,2 a
Bco. Temp s/VF	28,2	33,6	43,2	41,5	48,9	64,2	43,3 c
Bco. Tardío Sj 7	24,1	30	33,3	40,1	49	60,7	39,5 b
Total	23,8 a	31,0b	37,1 c	39,2c	46,6 d	59,6 e	

Medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes ( $p \geq 0,05$ )

Referencias: Bco.Temp.c/VF: población multiclona (PM) Blanco temprano con vara floral; Bco. Tardío Sj14: PM Blanco tardío Sj14; Bco temp s/VF: PM Blanco temprano sin vara floral, Bco. Tardío Sj 7: PM Blanco tardío Sj7. DS: densidad simple ( $280.000 \text{ plantas. ha}^{-1}$ ); DD: densidad doble ( $560.000 \text{ plantas. ha}^{-1}$ ); Ambiente 1: 130ETc en DS; Ambiente 2: 100ETc en DS; Ambiente 3: 70ETc en DS; Ambiente 4: 130 ETc en DD; Ambiente 5: 100ETC en DD; Ambiente 6: 70ETc en DD.

## 2.4. Conclusiones

Las poblaciones multiclones de ajo probadas respondieron de forma distintiva a la influencia de los ambientes planteados, definidos por la lámina de reposición y la densidad de plantación. En general, las poblaciones tempranas se diferenciaron de las poblaciones tardías logrando mejor desempeño en las variables de rendimiento, tanto en cantidad como en calidad. Luego, entre las poblaciones tempranas resaltó Blanco Temprano s/VF, lo que ya provee sustento para el momento de decidir entre variedades de ajo blanco tradicionalmente cultivadas en la provincia de San Juan.

El aumento de la densidad de plantación, al doble de la usualmente utilizada en cultivos sanjuaninos, fue la variable ambiental que impactó de manera más clara en todas las poblaciones multiclones probadas. Se logró aumentar el rendimiento total con detrimento en el rendimiento individual. A pesar de esto, no se comprobó una disminución de la proporción de bulbos comerciales, lo que sugiere que estas poblaciones multiclones, incluidas dentro del GE III, responden de forma óptima a las plantaciones más densas en San Juan.

Por otro lado, en cuanto al manejo de la reposición de agua con el riego, no fue tan evidente la influencia de las alternativas probadas sobre las variables respuestas en términos de lámina aplicada. Aunque se observó que, tanto el aumento como la disminución de la lámina de reposición de referencia (100% ETc), causó leve pérdida del rendimiento.

La presencia de malformaciones en ajo estuvo asociada, principalmente, a los ambientes que representaron mayor disponibilidad de recursos, tanto por baja densidad de plantación como por mayor disponibilidad de agua (i.e. mayor lámina de reposición). De manera coincidente, la mayor proporción de bulbos normales se logró en los ambientes de densidad doble, lo que abona la idea que estas poblaciones de ajo blanco temprano y tardío tendrían mejor adaptación en plantaciones de mayor densidad.

En cuanto a las variables de crecimiento estudiadas, se marcaron algunas diferencias en los patrones de evolución de las mismas entre las poblaciones tempranas y las tardías, pero también se observaron diferencias entre ambientes

para una misma variedad. Estas respuestas diferenciales abren la posibilidad de combinaciones óptimas, entre variedades de ajo blanco, densidad de plantación y plan de riego, para objetivos de producción diferentes (e.g. máximo rendimiento individual o máximo rendimiento total, conjugados con mayor o menor precocidad de cosecha).

El aumento en la densidad de plantación incrementó la eficiencia en el uso de agua, aunque con sacrificio en el rendimiento individual (i.e. peso medio de bulbos), pero sin efecto grave en la proporción de bulbos comerciales. Conocer la magnitud de estas relaciones de compromiso entre producción y uso de recursos provee una base fundamental para la toma de decisiones de manejo; especialmente en un contexto sostenido de disminución de la disponibilidad de agua para riego, como el que se viene dando en la última década en toda la Región de Cuyo.

## 2.5 Bibliografía citada

- AGRESTI A. 2002. Categorical Data Analysis. New Jersey: John Wiley & Sons.
- AGUADO, G., 2015. Respuesta de clones de ajo mediterráneo al efecto combinado de densidades de plantación y condiciones de provisión de nitrógeno. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/5282>
- ALJARO, A. y ESCAFF, M. 1976. Fertilización nitrogenada y densidad de plantación en cultivo de ajo. (*Allium sativum* L). Agricultura Técnica Chile. <http://www.inia.cl/medios/biblioteca/agritec/NR20937.pdf>
- ALJARO, A. 1990. Evaluación de sistemas de plantación y semillas de ajo (*Allium sativum*, L.) Densidad población y distribución de la plantación en hileras simples y múltiples. Agricultura Técnica Chile. [http://www.chileanjar.cl/files/V50I4A06\\_es.pdf](http://www.chileanjar.cl/files/V50I4A06_es.pdf)
- ALLEN, R. G., L. S. PEREIRA, D. RAES, y M. SMITH. 2006. Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO). Rome ISBN 92-5-304219-2. <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>
- ARROYO, A y BALZARINI, M. 2007. Modelos de covarianza residual heterocedásticos para mapeo de loci de caracteres cuantitativos. Actas de la Academia Nacional de Ciencias. ISBN 0325-7533 Tomo XIII: 129-140. Córdoba, Argentina.
- ANDRADE JÚNIOR, VC; GUIMARÃES, AG; FIRME, TD; COSTA, AAA; COSTA, MR; LOPES, TK; SOUZA, RJ y RESENDE, FV. 2019. Associations between morphological and agronomic characteristics in garlic crop. Horticultura Brasileira 37: 204-209. DOI - <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620190211>
- BALZARINI, M.G., GONZÁLEZ, L., TABLADA M., CASANOVES F., DI RIENZO J.A. y ROBLEDO CW. 871 2008. Infostat. Manual del Usuario. Córdoba: Editorial Brujas.

BARRIOS-DÍAZ, J. M., LARIOS-GARCÍA, M. C., CASTELLANOS, J. Z., ALCÁNTAR-GONZÁLEZ, G., RODRÍGUEZ-MENDOZA, M. D. L. N., TIJERINA-CHÁVEZ, L. y CRUZ-ROMERO, W. (2005). Rendimiento y calidad de ajo con diferente manejo del riego por goteo. REVISTA CHAPINGO SERIE HORTICULTURA 11(2),233-239. ISSN: 1027-152X.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60911208>

BATTISTELLA, M; NOVELLO R; MIRANDA, O y ALÓ ,M. 2014. Limitantes estructurales que afectan la productividad de la mano de obra durante la vendimia en el sector vitivinícola de San Juan.  
<http://www.observatoriova.com/wp-content/uploads/2014/05/Novello-Limitantes-mano-de-obra.pdf>

BURBA J.L. 1991. Caracterización de cultivares y tipos clonales de ajo obtenidos e introducidos en Argentina. XI Curso Taller sobre Producción, Comercialización e Industrialización de ajo, INTA Centro Regional, Mendoza. p 76-79.

BURBA J. L. 2002.a Comercio mundial del ajo. Perspectivas desde la Argentina. Ediciones INTA Documento Proyecto Ajo/INTA 066. 1-13p.  
[https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-doc\\_066\\_comercio\\_mundial.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-doc_066_comercio_mundial.pdf)

BURBA, J.L. 2002.b Manipuleo, almacenamiento y transporte de ajo. Documento Proyecto INTA 065. Ediciones INTA . [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-doc\\_065\\_manipuleo\\_almacenamiento\\_y\\_transporte\\_de\\_ajo.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-doc_065_manipuleo_almacenamiento_y_transporte_de_ajo.pdf)

BURBA, J.L. 2003. Producción de ajo. Ediciones INTA, p 19-21.  
[https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_produccion\\_de\\_ajo\\_doc\\_069.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_produccion_de_ajo_doc_069.pdf)

BURBA, J.L, 2008. Los grupos varietales del ajo (*Allium sativum* L.). Contribución para su entendimiento. Horticultura Argentina 27,20-27.  
[www.horticulturaar.com.ar/publicaciones-4.htm](http://www.horticulturaar.com.ar/publicaciones-4.htm).

BURBA, J.L. 2013. Cultivares argentinos de ajo. 100 Temas sobre producción de ajo. Ediciones INTA V2. 56-71p ISBN 978-987-679-225-7.

BURBA, J.L. Y LANZAVECHIA, S. 2022. Tipificación, empaque y comercialización. Producción de Ajo. Compilador: José Luis Burba, Cap. 6: 84-

87p Ediciones INTA ISBN 978-987-679-334-6 (digital), 1(1): 25-27  
[https://inta.gob.ar/sites/default/files/libesu0000\\_inta\\_asaho\\_ajo\\_v4.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/libesu0000_inta_asaho_ajo_v4.pdf)

BURBA, J.L. y PORTELA J.A. 2022. Grupos ecofisiológicos y tipos comerciales de ajo argentino. Producción de Ajo. Compilador: José Luis Burba, Cap. 3 :20-24 p. Ediciones INTA ISBN 978-987-679-334-6 (digital), 1(1): 25-27  
[https://inta.gob.ar/sites/default/files/libesu0000\\_inta\\_asaho\\_ajo\\_v4.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/libesu0000_inta_asaho_ajo_v4.pdf)

CÁMARA DE COMERCIO EXTERIOR DE SAN JUAN (COCEX) 25 de noviembre de 2021. La demanda de ajo chino sigue creciendo en los mercados de ultramar.

CAMARA DE PRODUCTORES, EMPACADORES Y EXPORTADORES DE AJO Y AFINES DE SAN JUAN. 9 de diciembre de 2018. Superficie de ajo por variedad de San Juan <http://ajosdesanjuan.com/produccion/>

CASTAGNINO, A.M. ; DÍAZ, K.; FERNANDEZ LOZANO, J.; GUI SOLIS, A. y LIVEROTTI, O. Panorama del sector hortícola argentino: 1. Caracterización y prioridades de la horticultura nacional; Asociación Argentina de Horticultura; Horticultura Argentina; 39; 99; 8-2020; 76-102-  
<http://www.horticulturaar.com.ar/es/publicacion/99/>

CASTELLANOS, J. Z; VARGAS-TAPIA, P.; OJODEAGUA, J.L.; HOYOS, G.; ALCANTAR-GONZALEZ, G.; MENDEZ, F.S.; ÁLVAREZ-SÁNCHEZ, M y GARDEA, A.A. (2004). Garlic Productivity and Profitability as Affected by Seed Clove Size, Planting Density and Planting Method. HortScience. 39. 1272-1277. 10.21273/HORTSCI.39.6.1272.

CROCCO, J. J. 2021. Mega sequía: Diagnóstico, impactos y propuestas. Puntos de Referencia 2021, 559, 1-25  
[https://www.cepchile.cl/cep/site/docs/20210119/20210119125450/pder559\\_ijcrocco.pdf](https://www.cepchile.cl/cep/site/docs/20210119/20210119125450/pder559_ijcrocco.pdf)

CUESTA, G. MARTI, P; GUILLEN L y LEMOLE, G. 2020. Perfil del sector hortícola en la provincia de San Juan. Revista Digital Horticultura Argentina. 39 (98). 36-57. ISSN de la edición on line 1851-9342  
<https://www.horticulturaar.com.ar/es/articulos/perfil-del-sector-horticola-en-la-provincia-de-san-juan.html>

DI BENEDETTO, A. 2004. Propagación agámica de planta. Cultivo Intensivo de Especies Ornamentales: Bases Científicas y Tecnológicas. Curso de Ecofisiología vegetal. Posgrado de Horticultura. UNCuyo 10p.

DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZAR NI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M. y ROBLEDO C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com>

ETOH, T. 1985. Studies on the sterility in garlic, *Allium sativum* L. Mem Fac Agr. Kagoshima Univ. 21: 77-13p.

ESPÍNDOLA, R. 2020. Descripción de jornadas, activos, cálculo de modelos económicos y productividad de la mano de obra para distintas escalas de producción de uva de mesa sanjuanina de exportación [Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Cuyo] <http://hdl.handle.net/20.500.12123/8325>

FAOSTAT. 2021. Valor de la producción agrícola. Producción bruta - Ajo Verde. Recuperado el 26 de diciembre de 2023 de <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QV/visualize>

FABEIRO CORTÉS, C.; MARTÍN DE SANTA OLALLA, F y LÓPEZ URREA, R (2003). Production of garlic (*Allium sativum* L.) under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate, *Agricultural Water Management*, Volume 59, Issue 2, Pages 155-167, ISSN 0378-3774, [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(02\)00125-7](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00125-7) <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377402001257>

FERRATTO, J y MONDINO, M.C. 2008 Producción, consumo y comercialización de hortalizas en el mundo <http://rephip.unr.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/2133/1250/HortalizasAM24-4.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

GARCIA, R. 2006. Sistemas complejos. Conceptos, métodos y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria. Primera edición. <http://secat.unicen.edu.ar/wp-content/uploads/2020/03/GARCIA-Sistemas-complejos1.pdf>

GIL, P. 2002. Muestreo de suelo para evaluación de salinidad y fertilidad. Hoja Informativa N°2. INTA San Juan. <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-hi2msuelo.pdf>

GIMÉNEZ. R; ALONSO DE RODRÍGUEZ.M., CORONADO M. Rizzotti L y TEJADA R: 2007. Relevamiento de Agrícola en la Provincia de San Juan. Ciclo 2006-2007 Departamento de Hidráulica. Gobierno de la provincia de San Juan. <https://hidraulica.sanjuan.gob.ar/datos%20y%20estadisticas/Relevamiento%20Agr%C3%ADcola%20San%20Juan%20Ciclo%202006-2007.pdf>

GONZALES, R.E. Y GALMARINI, C. R. 2013 Actividad antiagregante plaquetaria ejercida por extractos acuosos de ajo in vitro. 100 Temas sobre producción de ajo. Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria 5:66-74p.

GUIÑAZÚ, M.; GABRIEL, E.; ACOSTA, G. y BONOMO, V. 2003 Efecto de la modalidad de crecimiento sobre el rendimiento de ajo I. Cultivares tempranos. VII Curso Taller sobre Producción, Comercialización e Industrialización de Ajo. Ediciones INTA.75:80 p.

HALL, J. A. 1979. Los componentes fisiológicos del rendimiento de los cultivos. Revista Facultad de Agronomía, 1(1): 73-86. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/29262>

HANSON B y ORLOFF S. 1998 Measuring Soil Moisture. 1998. University of California, Davis, CA. 34 p.

HERNÁNDEZ J.J., FILI J.P y VEGA MAYOR S. 2019. Los cuadrilleros en las pequeñas y medianas explotaciones vitícolas de San Juan RevIISE - Revista de Ciencias Sociales y Humanas. Vol. 14, Año 14, octubre 2019 - marzo 2020, Artículos Libres ISSN: 2250-5555, [www.reviise.unsj.edu.ar](http://www.reviise.unsj.edu.ar)

INSTITUTO DE DESARROLLO RURAL (IDR) 2018. Estimación de volúmenes y calibres de ajo Temporada 2017/2018. [https://www.idr.org.ar/wp-content/uploads/2019/09/Estimaci%C3%B3n-de-vol%C3%BAmenes-y-calibres-de-ajo\\_-Temporada-20172018-1\\_docx-1.pdf](https://www.idr.org.ar/wp-content/uploads/2019/09/Estimaci%C3%B3n-de-vol%C3%BAmenes-y-calibres-de-ajo_-Temporada-20172018-1_docx-1.pdf)

INSTITUTO DE DESARROLLO RURAL (IDR).2020 Estimación de volúmenes y calibres de ajo Temporada 2019/2020 [https://www.idr.org.ar/wp-content/uploads/2020/08/Estimaci%C3%B3n-de-vol%C3%BAmenes-y-calibres-de-ajo\\_-Temporada-2019-2020.pdf](https://www.idr.org.ar/wp-content/uploads/2020/08/Estimaci%C3%B3n-de-vol%C3%BAmenes-y-calibres-de-ajo_-Temporada-2019-2020.pdf)

INSTITUTO DE DESARROLLO RURAL(IDR). 2021. Estimación de superficie cultivada en Mendoza 2021. [https://www.idr.org.ar/wp-content/uploads/2021/11/AJO\\_2021\\_web.pdf](https://www.idr.org.ar/wp-content/uploads/2021/11/AJO_2021_web.pdf)

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA (INTA) 20 de diciembre de 2021. Crisis hídrica en San Juan: opinión de los expertos <https://inta.gob.ar/noticias/crisis-hidrica-en-san-juan-opinion-de-los-expertos>

JIMÉNEZ-VÁZQUEZ, P, RANGEL-LUCIO, JA, MENDOZA-ELOS, M, CERVANTES-ORTÍZ, F. y RIVERA-REYES, JG.2014 Efecto de tamaño del bulbo/bulbillo y densidad de plantación en la emergencia, rendimiento y calidad de ajo (*Allium sativum* L.). *Phyton* (Buenos Aires), 83(1), 83-91. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1851-56572014000100011&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-56572014000100011&lng=es&tlng=es).

KORRES, N.E., NORSWORTHY, J.K. y TEHRANCHIAN, P. 2016. Cultivars to face climate change effects on crops and weeds: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 36, 12 <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0350-5>

LANZAVECHIA, S.; BURBA, J.L. y TOGNO, L . 2013. Aptitudes de tipos comerciales y cultivares de ajo para la conservación pos-cosecha. 100 Temas de Ajo. Ediciones INTA. ISBN 978-987-679-225-7. Vol 4: 160-165 p.

LANZAVECHIA, S y BURBA, JL 2015. Determinación de la calidad en ajos para consumo. Ediciones INTA. (Proyecto Ajo/ INTA N° 117). <https://inta.gob.ar/documentos/determinacion-de-la-calidad-en-ajos-para-consumo-0>

LELLIS, B. 2017. Efecto del riego deficitario controlado optimizado por etapas, para volúmenes limitados de agua, en el rendimiento y la calidad del ajo morado de Las Pedroñeras. Tesis de Doctorado. Universidad de Castilla -La Mancha, España. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=150017>

LIPINSKI,V.M. y GAVIOLA DE HERAS. 1995. Efecto de la densidad y la fertilización nitrogenada en el cultivo de ajo tipo colorado. IV Curso/Taller s/ Prod., Com. e Ind. Ajo- 61 F-70 F

LIPINSKI, V. M. y GAVIOLA, S. 2003 Ajo Nieve INTA. Densidad de plantación y Fertiirrigación nitrogenada Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Vol. 35, no. 2 <http://bdigital.uncu.edu.ar/1718>

LIPINSKI, V.M.; GAVIOLA, S. y PORTELA, J.A. 2009. Efecto del déficit de riego controlado en diferentes estadios del cultivo sobre el rendimiento de ajo colorado y castaño. <https://www.ina.gov.ar/archivos/pdf/CRA-VFERTI/CRA-RYD-16-Lipinski-2.pdf>

LIPINSKI, VM Y GAVIOLA, S. 2011. Optimización de la eficiencia en el uso del agua en ajos de tipos violeta y blanco mediante riego deficitario regulado. Acta Hortic. 889, 459-468 DOI: 10.17660/ActaHortic.2011.889.58 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.889.58>

LIPINSKI, V.M. y GAVIOLA DE HERAS S. 2013. Avances en el manejo del riego y la nutrición en el cultivo de ajo en Mendoza, Argentina. 100 Temas sobre la producción de ajo. Ediciones INTA. ISBN 978-987-679-225-7. V3 77-107

LIPINSKI, V.M 2015. Manejo del riego y la fertilización en el cultivo de ajo. Ediciones INTA PROYECTO AJO /INTA 114 1-12p [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_-\\_riego\\_y\\_fertilizacin\\_de\\_ajo.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_riego_y_fertilizacin_de_ajo.pdf)

LIOTTA, M. 2005 Evaluación de coeficiente de uniformidad de equipos de riego presurizado. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-evaluacion\\_de Equipos\\_de\\_riego\\_presurizado\\_2\\_.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-evaluacion_de Equipos_de_riego_presurizado_2_.pdf)

LIOTTA, M. y SARASUA, A. 2010. Programación del riego en vid para variedades de mesa y pasa con riego presurizado. 2da Reunión Internacional de Riego, Manfredi – Córdoba. <https://inta.gob.ar/documentos/programacion-del-riego-en-vid-para-variedades-de-mesa-y-pasa-con-riego-presurizado>

LIOTTA, M. 2011. Los suelos de los valles Tulum, Ullum y Zonda. <https://inta.gob.ar/documentos/los-suelos-en-los-valles-de-tulum-ullum-y-zonda>

LOPEZ A., BURBA, J.L. y NIEVA M.2014. Representación gráfica de los defectos de ajos para consumo según las Normas IRAM INTA 155003. Ediciones INTA. <https://informeajo.files.wordpress.com/2018/03/defectos-cuadernillo-indd.pdf>

LÓPEZ BELLIDO F.J. y LÓPEZ BELLIDO R. J. 2008. Clasificación de las distintas cultivares de ajo a nivel mundial. Revista Vida Rural. 22-27p. [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf\\_Vrural%2FVrural\\_2008\\_275\\_22\\_27.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Vrural%2FVrural_2008_275_22_27.pdf)

LÓPEZ FRASCA A. y PORTELA, J.A. 2006. Respuesta de clones de ajo [*Allium sativum*] frente a ambientes variables. Horticultura argentina Vol.25, no.58, p.21-25, il. <http://ceiba.agro.uba.ar/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=2631>

LÓPEZ A., BURBA, J.L. y NIEVA M.2014. Representación gráfica de los defectos de ajos para consumo según las Normas IRAM INTA 155003. Ediciones INTA. <https://informeajo.files.wordpress.com/2018/03/defectos-cuadernillo-indd.pdf>

MAAß, H.I. y KLAAS, M. 1995. Diferenciación intraespecífica del ajo (*Allium sativum* L.) mediante isoenzimas y marcadores RAPD. Genética Teórica y Aplicada, 91, 89-97. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00220863>

MESSIAEN, 1996. La variabilité chez l'Ail. [http://www7.inra.fr/lecourrier/wp-content/uploads/2013/04/Sauve-qui-peut-n%C2%B09\\_ail.pdf](http://www7.inra.fr/lecourrier/wp-content/uploads/2013/04/Sauve-qui-peut-n%C2%B09_ail.pdf)

MINISTERIO DE AGRICULTURA GANADERIA Y PESCA ARGENTINA 2021. Producción de ajo en la Argentina Noviembre 2021 <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/la-produccion-de-ajo-en-la-argentina-noviembre-2021-magyp.pdf>

MINISTERIO DE AGROINDUSTRIA DE LA NACIÓN, 2016. Protocolo de calidad de ajo. Resolución SAV N°: 36/2016. [https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/HomeAlimentos/Sello/sistema\\_protocolos/SAA045%20Ajo.pdf](https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/HomeAlimentos/Sello/sistema_protocolos/SAA045%20Ajo.pdf)

MUHAMMAD J. A., BAKHT A., MUHAMMAD I. G., MUHAMMAD A., SIYU Z. y ZHIHUI C. 2020. Effect of photoperiod and temperature on garlic (*Allium sativum* L.) bulbing and selected endogenous chemical factors Environmental and Experimental Botany, vol 180. ISSN 0098-8472. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104250>.

OFICINA DE ESTUDIOS Y POLÍTICAS AGRARIAS (ODEPA) 2014. El mercado del ajo. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. Gobierno de Chile [www.odepa.gob.cl](http://www.odepa.gob.cl)

ORTEGA PECHARROMÁN I., ARAGONESES A.y LUNELLO P. 2018. La diversidad varietal en ajo (*Allium sativum*) frente al cambio climático. Agrícola vergel: Fruticultura, horticultura, floricultura N°. 412 p. 249-254, ISSN 0211-2728.

POOLER M.R. y SIMON P.W. 1993 Floración del ajo en respuesta al clon, Fotoperíodo, Temperatura de crecimiento, y almacenamiento en HORT SCIENCIA 28(11):1085–1086. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.28.11.1085>

PORTELA; J. A. 1996. El ambiente como regulador del crecimiento. Sus efectos sobre el ajo (*Allium Sativum* .L) Avances en Horticultura 1(1):19-40p

PORTELA, J. A. 1997. Anormalidades fisiogénicas en el cultivo de ajo. Malformaciones.50 Temas en la producción de ajo. Mendoza. Argentina. 3: 294-311. <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-1-8.pdf>

PORTELA, J. A. 1999. Determinación de los requerimientos térmicos mínimos en la etapa de brotación en ajo “blanco”. VI Curso/ Taller Producción, Comercialización e Industrialización de Ajo. 107-108p.

PORTELA, J. A.2003 <sup>a</sup>. Avances en la eco fisiología del ajo. VIII Curso Taller sobre Producción, Comercialización e Industrialización de Ajo. Mendoza. INTA Centro Regional, Mendoza. 53:65p

PORTELA J.A. y CAVAGNARO J.B. 2003 b El crecimiento de la planta de ajo blanco. I Evolución de la parte aérea. VIII Curso Taller sobre producción, comercialización e industrialización de ajo. Proyecto Ajo/INTA.

PORTELA J.A. 2004 Efecto de las condiciones térmicas del ambiente sobre la ontogenia del ajo (*Allium sativum* L.) tipo clonal blanco Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.

PORTELA J.A. y CAVAGNARO J.B. 2005. Escala ecofisiológica para ajos blancos y violetas: una herramienta fundamental para la toma de decisiones en el cultivo. IX Curso Taller sobre Producción, Comercialización e Industrialización de Ajo.

PORTELA, J.A. y LUCERO, C.C. 2007. Caracterización ecofisiológica de cultivares clonales de ajo. En: X Curso/Taller sobre Producción, Comercialización e Industrialización de Ajo. Mendoza, INTA EEA La Consulta, 57-69p.

PORTELA, J.A. 2011. Una Variedad para cada necesidad. Importancia de las alternativas varietales del INTA en los escenarios futuros para el Ajo Argentino. XII Curso Taller sobre Producción, Comercialización e Industrialización de Ajo. Proyecto Ajo/INTA. Ediciones INTA p 69-83 ISBN 978-987-679-057-4

PORTELA, J. A. 2013<sup>a</sup>. Crecimiento y desarrollo de la planta de ajo. 100 Temas sobre la producción de ajo. Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria ISBN 978-987-679-225-7. V3. 27-31p.

PORTELA, J.A. y LUCERO C.C. 2013 <sup>b</sup>. Tecnología “costo cero” para el cultivo de ajo. 100 Temas sobre la producción de ajo. Ediciones INTA V3.48-76p. ISBN 978-987-679-225-7.

PORTELA J.A., AGUADO G., DONOSO P.y MEDINA A. 2017 El desafío de incrementar la densidad de plantación en cultivos de ajo: aspectos a tener en cuenta. Informe técnico  
[https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_informe\\_densidad\\_de\\_plantacion\\_en\\_ajo.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_informe_densidad_de_plantacion_en_ajo.pdf)

PORTELA, J.A. 2022. Base ecofisiológica para la producción. Producción de Ajo. Compilador: José Luis Burba, Cap 4, páginas 25-47 Ediciones INTA ISBN 978-987-679-334-6 (digital), 1(1): 25-27  
[https://inta.gob.ar/sites/default/files/libesu0000\\_inta\\_asaho\\_ajo\\_v4.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/libesu0000_inta_asaho_ajo_v4.pdf).

PROGRAMA DE SERVICIOS AGRICOLAS PROVINCIALES, 2012. Estrategias provinciales para el sector agroalimentario.  
[www.prosap.gov.ar/webDocs/EPSASanJuan-Resolucion2012.doc](http://www.prosap.gov.ar/webDocs/EPSASanJuan-Resolucion2012.doc).

PROGRAMA DE SERVICIOS AGRICOLAS PROVINCIALES, 2016. Protocolo para la evaluación de riego superficial. Escuela y laboratorio móvil de irrigación 1:10.  
<http://www.prosap.gov.ar/Docs/Protocolo%20General%20para%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20Riego%20por%20Superficie.pdf>

Racca, R.; Ledesma, A.; Reale, M.I. and Collino, D. 1981. Efecto de bajas temperaturas en almacenaje de preplantación y condiciones termofotoperiódicas de cultivo en la bulbificación de ajo (*Allium sativum* L.) cv. Rosado Paraguayo. *Phyton* 41(1/2):77-82.

REZENDE, B. R., y DA SILVA, A. R. 2015 Análisis de seguimiento de rendimiento de ajo con inclusión de variable multicategórica. *Multi-Science Journal*, 1(3), 13–16. <https://doi.org/10.33837/msj.v1i3.93>

RIVERA, J. A.; ARANEO, D. C y PENALDA O, C. 2015. Evaluación del período de crisis: hídrica 201-2014 en la Región de Cuyo [https://www.researchgate.net/profile/Juan\\_Rivera11/publication/279198224\\_Evaluacion\\_del\\_periodo\\_de\\_crisis\\_hidrica\\_2010-014\\_en\\_la\\_region\\_de\\_Cuyo/links/558ebfc108ae47a3490d8c15.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Juan_Rivera11/publication/279198224_Evaluacion_del_periodo_de_crisis_hidrica_2010-014_en_la_region_de_Cuyo/links/558ebfc108ae47a3490d8c15.pdf)

ROJAS, F. 2021. Dimensiones sociales y territoriales de las sequías en San Juan (siglos XVIII-XXI): una propuesta de periodización. *Punto sur*, (5). <https://doi.org/10.34096/ps.n5.11000>

SALAZAR-MORENO, R., ROJANO-AGUILAR, A. , LÓPEZ, C.y IRINEO L. 2014. La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. *Tecnología y ciencias del agua*, 5(2), 177-183. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-4222014000200012&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-4222014000200012&lng=es&tlng=es).

SALUZZO, J.A. 1997. Factores a considerar en la etapa de plantación de ajo. *50 Temas sobre la producción de ajo*. Mendoza. Argentina. 3:81:88p.

SÁNCHEZ-VIROSTA, D. y SÁNCHEZ-GÓMEZ. 2019. Inter-cultivar variability in the functional and biomass response of garlic (*Allium sativum* L.) to water availability. *Scientia Horticulturae*, Vol 252, p. 243-251. ISSN 0304-4238. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.03.043>

SANTOS VIERA, M.A., ANDRADE JUNIOR, V.C., GUIMARÃES A., BRITO, O.G., TAULA, A.J.V., COSTA, R.A., ALVES, J.P.R., SILVA, N.O. y RESENDE, F.V. .2021. Correlaciones entre caracteres agronómicos en ajo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.57, e02603, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2022.v57.02603>

SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE DE LA NACIÓN, 2009. La situación en la Argentina: impacto, vulnerabilidad y adaptación. La Patagonia y Cuyo. El Cambio Climático en la Argentina. 43-50.

<http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/UCC/File/09ccargentina.pdf>

SILVESTRI, V., LÓPEZ FRASCA, A., RIGONI, C. y TOGNO, L. 2007 "Asociaciones entre clones y anomalías morfológicas en ajo:". En: Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, vol. 39, núm. 2, pág. 43-49 .URL

<https://bdigital.uncu.edu.ar/1579>

SOTO, V.C. y GALMARINI, C.R.2013 Actividad antioxidante de ajo relacionada a la presencia de compuestos organozufrados. 100 Temas sobre producción de ajo. Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria 5:56-63.

SOTO, V.C. y GALMARINI, C.R.2013 Polifenoles en ajo y su relación con la actividad antioxidante. 100 Temas sobre producción de ajo. Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria 5:91-97.

STAHLSCHMIDT, O y CAVAGNARO, J.B.1997. Aspectos ecofisiológico del cultivo de ajo. 50 Temas sobre producción de ajo. Mendoza. Argentina. 3:20-38.

SULTAN, S. 2000 Phenotypic plasticity for plant development, function, and life history, Trends in Plant Science, Volume 5, Issue 12, Pages 537-542, ISSN 1360-1385, [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(00\)01797-0](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(00)01797-0)

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1360138500017970>

TAKAGI, H 1990. Garlic *Allium sativum*, L. Onions and allied crops Rabinowitch HD y Brewster JL (Ed). Vol. 3 Cap 6, pp 109-157