



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO

TESIS DE MAESTRÍA

**RESPUESTA DE CLONES DE AJO MEDITERRÁNEO
AL EFECTO COMBINADO DE DENSIDADES DE
PLANTACIÓN Y CONDICIONES DE PROVISIÓN DE
NITRÓGENO**

Tesista: Ing. Agr. Germán Darío Aguado
Director: Ing. Agr. (M. Sc., Dr.) José A. Portela
Codirector: Ing. Agr. (M. Sc.) Víctor M. Lipinski

Mendoza, 2015



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

TESIS DE MAESTRÍA

**RESPUESTA DE CLONES DE AJO MEDITERRÁNEO
AL EFECTO COMBINADO DE DENSIDADES DE
PLANTACIÓN Y CONDICIONES DE PROVISIÓN DE
NITRÓGENO**

MAESTRÍA EN HORTICULTURA

Tesista: Ing. Agr. Germán Darío Aguado
Director: Ing. Agr. (M. Sc., Dr.) José A. Portela
Codirector: Ing. Agr. (M. Sc.) Víctor M. Lipinski

Mendoza, 2015

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece especialmente a las siguientes personas e instituciones:

- Al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, por la oportunidad para realizar los estudios y por el apoyo recibido mediante una Beca de Formación de Postgrado;
- A José A. Portela por su continuo apoyo y sugerencias, pero fundamentalmente por sus enseñanzas y guía para abordar este proyecto;
- A Víctor M. Lipinski por su compromiso y cooperación en la ejecución del ensayo de campo realizado para la presente tesis;
- Al personal de la Estación Experimental Agropecuaria La Consulta, por el respaldo y la colaboración en el desarrollo del trabajo.
- A los integrantes del Comité Académico y docentes de los distintos cursos dictados;
- A mis compañeros de la Estación Experimental Agropecuaria Mendoza;
- A mi mujer Florencia Azcárate, por su paciencia, respaldo y consideración;
- A mis padres, Francisco “Paco” y Cristina, por su cariño, apoyo y comprensión;
- A mi hijo Juan Francisco, por transformar mi ilusión en realidad;
- A todos aquellos que de una u otra manera me acompañaron durante el desarrollo de este proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	viii
Resumen.....	10
Abstract.....	11
I. ANTECEDENTES EN LAS RELACIONES ENTRE DENSIDAD DE PLANTACIÓN Y NUTRICIÓN NITROGENADA CON EL CRECIMIENTO Y LA PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO DE AJO.....	12
1.1 Introducción.....	12
1.2 El ajo y el ambiente.....	13
1.3 El ajo y la densidad de plantación.....	15
1.4 El ajo y el nitrógeno.....	17
1.5 El crecimiento secundario en el ajo.....	22
1.6 Consideraciones finales.....	23
1.7 Finalidad de la presente tesis.....	24
1.7.1 Hipótesis de trabajo.....	24
1.7.2 Objetivo general.....	24
1.7.3 Objetivos específicos.....	24
II. RESPUESTA DE CLONES DE AJO, GRUPOS IIIB Y IVB, EN LOS AMBIENTES PROBADOS.....	26
2.1. Introducción.....	26
2.2. Materiales y métodos.....	28
2.3. Resultados y discusión.....	33
2.3.1. Peso medio, diámetro medio de bulbos, rendimiento total y rendimiento exportable.....	33
2.3.2. Número de hojas verdes.....	36
2.3.3. Producción de materia seca total por planta.....	39
2.3.4. Evolución de la biomasa foliar.....	41

2.3.5. Evolución de la biomasa del bulbo.....	45
2.3.6. Evolución del tallo floral.....	50
2.3.7. Partición general de materia seca a cosecha.....	52
2.3.8. Consideraciones sobre el crecimiento secundario.....	53
2.3.9. Eficiencia de uso del nitrógeno.....	54
2.4. Conclusiones.....	56
III. INTERPRETACIÓN DE LA RESPUESTA INTEGRAL DE LOS CLONES ENTRE AMBIENTES, A PARTIR DEL EMPLEO DE COVARIABLES.....	58
3.1. Introducción.....	58
3.2. Materiales y métodos.....	59
3.3. Resultados y discusión.....	62
3.4. Conclusiones.....	75
CONCLUSIÓN FINAL.....	77
BIBLIOGRAFÍA CITADA.....	79

ÍNDICE DE TABLAS

1.1. Clasificación actualizada de variedades de ajo cultivadas en Argentina en grupos ecofisiológicos.....	13
2.1. Peso medio del bulbo madre, peso medio de bulbillos del bulbo madre, porcentaje de calibres del bulbo madre e índice visual de dormición.....	29
2.2. Resumen de la evaporación bruta del tanque A, la lámina de riego, la precipitación efectiva, lámina total y el número de riegos totales realizados durante el cultivo, según cultivar.....	30
2.3. Características físico-químicas del horizonte superficial (0-30 cm) del suelo en el sitio de los experimentos.....	30
2.4. Planes de fertilización cumplidos según modalidades de aplicación.....	31
2.5. Categorías de bulbos por diámetro ecuatorial según normas de calidad aplicadas en Argentina.....	32
2.6. Peso medio de bulbo por clon en cada ambiente probado.....	33
2.7. Diámetro medio de bulbo por clon en cada ambiente probado.....	33
2.8. Porcentaje de bulbos por diámetro, rendimiento total y porcentaje de bulbos exportables estimados por clon y para cada ambiente.....	35
2.9. Peso seco total por planta, por clon y por ambiente, en 3 momentos clave del cultivo.....	39
2.10. Tasa de crecimiento absoluta del peso seco total por planta, por clon y ambiente.....	40
2.11. Área foliar por planta, para cada clon y ambiente, en 3 momentos del cultivo.....	42
2.12. Peso seco hojas por planta, por clon y por ambiente, en 3 momentos clave del cultivo.....	43
2.13. Tasa de crecimiento absoluta del peso seco hojas por planta, por clon y ambiente.....	44
2.14. Peso seco del bulbo por planta, por clon y por ambiente, en 3 momentos clave del cultivo.....	47
2.15. Tasa de crecimiento absoluta del peso seco bulbo por planta, por clon y ambiente.....	48
2.16. Tasa de asimilación neta del bulbo por clon y ambiente.....	49
2.17. Peso seco del tallo floral al inicio y fin de la Etapa III, y tasa de crecimiento absoluta de esa biomasa seca por planta durante este período.....	50

2.18. Valores porcentuales de materia seca en distintas secciones del vástago de la planta para cada cultivar y ambientes de cultivo probados.....	52
2.19. Porcentaje de plantas con crecimiento secundario (incidencia) y su severidad (número de nudos rebrotados), para las cultivares y ambientes probados.....	53
2.20. Eficiencia agronómica del uso de nitrógeno, en tres observaciones, para cada cultivar y ambiente de fertilización.....	55
3.1. Clave de identificación de variables respuesta, variables de “semilla” y variables del cultivo utilizadas en el análisis multivariado.....	61
3.2. Valores medios de las variables respuesta estudiadas, para cada combinación de clon y ambiente de cultivo.....	62
3.3. Valores medios de variables de “semilla” para cada combinación de clon y ambiente de cultivo.....	62
3.4. Valores medios de variables registradas durante el cultivo, para cada combinación de clon y ambiente de cultivo. Primera parte.....	63
3.5. Valores medios de variables registradas durante el cultivo, para cada combinación de clon y ambiente de cultivo. Segunda parte.....	63
3.6. Valores medios de variables registradas durante el cultivo, para cada combinación de clon y ambiente de cultivo. Tercera parte.....	63
3.7. Sumas de cuadrado correspondientes a clones, ambientes y la interacción entre ambos, para cada una de las variables respuesta consideradas.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1. Efecto teórico de la densidad de plantación sobre la productividad de ajo..	16
1.2. Criterios para programar la oportunidad de aplicación de fertilizantes nitrogenados en cultivos de ajo. Propuesta para la región de Cuyo.....	19
1.3. Absorción relativa de nitrógeno durante el cultivo de ajo Colorado.....	20
1.4. Extracción total de nitrógeno y rendimiento de ajo variedad Español, en función de la dosis de nitrógeno aplicada.....	22
2.1. Diseño del ensayo multiambiental con tres cultivares clonales de ajo en seis ambientes conformados por la combinación de densidades de plantación y modalidades de aporte de nitrógeno.....	29
2.2. Evolución del número de hojas verdes por planta ajustadas por el modelo de regresión localmente ponderada en tres clones de ajo.....	37
2.3. Perfil de variación del peso seco de láminas de hojas de tres cultivares de ajo por ambiente, en las Etapas II y III consideradas en este estudio.....	41
2.4. Perfil de variación del peso seco de bulbo de tres cultivares de ajo por ambiente, en las Etapas II y III consideradas en este estudio.....	46
2.5. Relación entre el peso seco del escapo y el peso seco de bulbo para dos cultivares de ajo colorado.....	51
2.6. Eficiencia en el uso del nitrógeno relativo a rendimiento exportable y rendimiento total de tres cultivares de ajo en cuatro ambientes de cultivo.	56
3.1. Biplot para las variables respuesta que representan el rendimiento según el plano conformado por las dos primeras componentes principales obtenidas del análisis ACP. Presentación de casos.....	64
3.2. Evolución de la temperatura media diaria durante el ciclo de cultivo. Datos de 2012, Estación Agrometeorológica de la Estación Experimental Agropecuaria La Consulta.....	66
3.3. Biplot para las variables respuesta que representan el rendimiento según el plano conformado por las dos primeras componentes principales (CP) obtenidas del análisis ACP. Presentación de casos y variables.....	67
3.4. Triplot para peso medio de bulbo, obtenidos del análisis de regresión por mínimos cuadrados parciales de una matriz de interacción entre 3 clones y 6 ambientes, versus una matriz de covariables del cultivo, de semilla y ambientales.....	72
3.5. Triplot para proporción de bulbos exportables, obtenido del análisis de regresión por mínimos cuadrados parciales de una matriz de interacción entre 3 clones y 6 ambientes, versus una matriz de covariables del cultivo, de semilla y ambientales.....	75

LISTA DE ABREVIATURAS

A, efecto del ambiente
ACP, análisis de componentes principales
afe311, área foliar efectiva hacia el día 311
alt249, altura media de plantas hacia el día 249
alt311, altura media de plantas hacia el día 311
areafol249, área foliar hacia el día 249
areafol311, área foliar hacia el día 311
C, efecto del clon
CA, interacción clon-ambiente
cm, centímetro
cm², centímetro cuadrado
cmed, diámetro ecuatorial medio de bulbo
cmedma, diámetro ecuatorial medio del bulbo madre
coefconv, coeficiente de conversión
CP, componente principal originado en el ACP
D, densidad de plantación
dd80cos, número de días desde 80% de emergencia hasta cosecha
dm², decímetro cuadrado
dr, lámina de riego
EB, evaporación bruta del tanque A
EUN, eficiencia agronómica del uso de nitrógeno
Filocrono298, tiempo térmico entre la aparición de dos hojas sucesivas
FV, fuente de variación
GE, grupo ecofisiológico en la clasificación de cultivares de ajo
GREG, modelo de regresión por genotipo
h, hora
ha, hectárea
iaf 249, índice de área foliar hacia el día 249
iaf 311, índice de área foliar hacia el día 311
IDR, Fundación Instituto de Desarrollo Rural
incireb, incidencia media de rebrotes por parcela
INTA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
IRC, índice relativo de clorofila

ivd, índice visual de dormición
kg: kilogramo
L, litro
m, metro
m², metro cuadrado
MCP, mínimos cuadrados parciales
msnm, metros sobre el nivel del mar
mm, milímetro
N disp, nitrógeno disponible por planta en el ciclo de cultivo
N, nitrógeno
nhojt249, número de hojas totales hacia el día 249
nhojt311, número de hojas totales hacia el día 311
nhojver298, número de hojas verdes hacia el día 298
NR, número de riegos realizados durante el cultivo
°C, grados Celsius
pmed, peso medio de bulbo
pmedma, peso medio del bulbo madre
pp, precipitación efectiva
ppm, partes por millón
prbex, proporción de bulbos exportables
psbulcos, peso seco de bulbo a cosecha
pshojcos, peso seco de hoja a cosecha
psmedma, peso medio de bulbillos por bulbo madre
pstotalcos, peso seco de planta a cosecha
rendtot, rendimiento total
t, tonelada
tanbulb311-cos, tasa de asimilación neta de bulbo entre días 311 y cosecha
tasahojverd80-221, tasa de aparición de hojas verdes entre el día de 80% de emergencia y el día 221
tasalt249-311, tasa de incremento de altura entre días 249 y 311
tasanhoj249-311, tasa de aparición de hojas totales entre días 249 y 311
tcabulb311-cos, tasa de crecimiento absoluto de peso seco bulbo entre días 311 y cosecha

RESUMEN

Los crecientes déficit hídricos en la región de Cuyo marcan la necesidad de incrementar los rendimientos por unidad de superficie cuidando optimizar el aprovechamiento de recursos. En cultivos de ajo, sistemas de fertilización poco eficientes y el uso de densidades de plantación relativamente bajas determinan altos costos de producción y rendimientos por debajo del potencial. El riego presurizado permitiría aumentar la eficiencia en el uso del agua y del nitrógeno, así como del espacio, al posibilitar mayor acercamiento de las líneas de cultivo. Para ello, es preciso ajustar criterios que permitan mejores diseños de cultivos.

El presente trabajo plantea como objetivo estudiar la respuesta de clones de ajo de origen mediterráneo (grupo Sativum) y de distinta precocidad de cosecha, en diferentes ambientes generados por combinaciones de densidades de plantación y modalidades de provisión de nitrógeno.

El ensayo multiambiental fue realizado durante la temporada 2012 en la Estación Experimental Agropecuaria La Consulta INTA (Mendoza, Argentina; 33,7° S; 69,7 O y 950 m.s.n.m.). Se probaron 3 cultivares clonales (Unión, del tipo blanco tardío, y Gostoso INTA y Rubí INTA, del tipo colorado), en 6 ambientes conformados por la combinación de dos densidades de plantación (28 y 56 plantas·m⁻²) y tres formas de provisión de nitrógeno (N0, sin fertilizar; N100, con 180 kg·ha⁻¹ hasta inicio de bulbificación; y N70/30, con 70% de la dosis, 126 kg·ha⁻¹, hasta inicio de bulbificación y 30%, 54 kg·ha⁻¹, desde rápido crecimiento del bulbo).

Se obtuvieron respuestas diferenciales entre clones y entre ambientes. La mayor densidad permitió mejor utilización del espacio y de los recursos; incrementó el rendimiento total, pero afectó negativamente el individual en las tres cultivares. Rubí INTA mostró el mejor desempeño en baja densidad, mientras que Unión lo hizo en alta densidad. En los ambientes fertilizados, las diferentes modalidades de provisión de nitrógeno no generaron respuestas diferenciales, presumiblemente por interacciones con la microflora edáfica. No obstante, la partición de la dosis de nitrógeno entre el crecimiento vegetativo inicial y el rápido crecimiento del bulbo podría permitir la mejora en la eficiencia de uso del nutriente en cultivos con altas poblaciones de plantas. Finalmente, fue posible establecer la existencia de interacción clon-ambiente frente al efecto combinado de densidad de plantación y modalidad de provisión de nitrógeno.

Palabras clave: ajo, ecofisiología, densidad de plantación, fertilización nitrogenada

ABSTRACT

The growing water deficit in the region of Cuyo show the need to increase the yield per unite unit area looking after optimize the use of resources. In garlic crops, low efficient fertilization systems and use relatively low plant densities determined the high cost of production and yields below potential. Pressurized irrigation would allow the efficiency of water and nitrogen, as well as space, to enable closer crop lines. For this, it is necessary to adjust criteria allowing better crop design.

The objective set on this paper is to study the response of Mediterranean garlic clones (Sativum group) and different periods of harvest, in different environments generated by planting density and nitrogen supplies.

During the season of 2012, the multienvironment trial was performed at INTA's Experiment Station La Consulta (Mendoza, Argentina, 33.7° S, 69.7 W and altitude 950 m.a.s.l.). Three clonal cultivars (Unión white late type, Gotoso INTA y Rubí INTA red type), were tested in six different environments formed by the combination of two planting densities (28 and 56 plants per square meters) and three ways of nitrogen supplies (N0 unfertilized; N100 with 180 kg·ha⁻¹ until the bulb initiation; N70/30 with 70% of the dose, 126 kg·ha⁻¹ until bulb initiation, and 30%, 54 kg·ha⁻¹ since fast growth of the bulb).

Differential responses were obtained between clones and between environments. The highest density allowed better use of space and resources; it increased the total yield, but negatively affected the individual in the three crops. Rubí INTA showed the best performance in low density, while Unión showed it in high density. In fertilized environments, the different ways of nitrogen supplies did not generate differential responses, probably because of the interactions with microbial activity soil. However, partition of nitrogen dose between the initial vegetative growth and the fast bulb growth would allow improving the use efficiency of nutrient in crops with high plants population. Finally, it was possible to establish the existence of clone-environment interaction to the combined effect of planting density and nitrogen provision mode.

Key Words: garlic, ecophysiology, planting density, nitrogen fertilization.

CAPITULO I

ANTECEDENTES EN LAS RELACIONES ENTRE DENSIDAD DE PLANTACIÓN Y NUTRICIÓN NITROGENADA CON EL CRECIMIENTO Y LA PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO DE AJO

1.1 INTRODUCCIÓN

El ajo (*Allium sativum*) es la principal hortaliza exportable en fresco de Argentina (IDR, 2011). Por su parte, la provincia de Mendoza, concentra un volumen de producción superior al 85% y el 90% de las exportaciones nacionales (Burba, 2003a).

Las crecientes restricciones hídricas en la región de Cuyo traen consigo la necesidad de un cambio tecnológico en el cultivo de ajo (Portela, 2011). Para mantener la superficie plantada, y más aún para incrementarla, será necesario elevar sustancialmente la eficiencia en el uso del agua; esto es, aumentar los kilogramos de producto cosechado por unidad de agua erogada.

A nivel del cultivo, esto implica la conveniencia de emplear métodos de riego presurizado, que traen consigo además la posibilidad de simplificar la aplicación de fertilizantes químicos (fertigación), como así también la de varios defensivos (quimigación), dependiendo de la amenaza y del método de riego (Fernandes da Costa *et al.*, 1994). Esta tecnología hace posible asimismo reducir el impacto ambiental de la actividad agrícola, por la posibilidad de hacer aplicaciones más precisas.

El aumento en la productividad por litro de agua entregado puede alcanzarse de dos maneras: con riegos más precisos, como lo permite el uso de los métodos presurizados, y con el aumento del número de plantas por unidad de superficie (Portela, 2011). Sin embargo, los sistemas de producción actuales, con líneas de cultivo cada 50 cm para permitir el riego por surcos intermedios, sólo admiten modificar el distanciamiento entre plantas en la línea y dejan muy poco margen para el incremento de la densidad.

El cambio tecnológico basado en la incorporación del riego presurizado permitiría no sólo ahorrar agua en la conducción y distribución, sino también con el acercamiento entre sí de las líneas de cultivo. No obstante, este aumento de la densidad de plantación por acercamiento de las plantas conlleva la necesidad de

ajuste de los programas de nutrición del cultivo; fundamentalmente en relación al nitrógeno.

Este trabajo pretende extraer criterios y preguntas esenciales sobre el manejo del cultivo, a partir de diversas publicaciones locales, nacionales e internacionales, haciendo hincapié en el efecto que tienen, sobre la productividad y el rendimiento, el número de plantas de ajo establecidas por unidad de superficie y la provisión de nitrógeno al suelo, sin perder de vista la importancia de la cultivar en la determinación de esa respuesta.

1.2 EL AJO Y EL AMBIENTE

Todo cultivo es resultado de la interacción entre plantas cultivadas y los componentes del ambiente biofísico en el que crecen, con la intervención del hombre en el control de esa interacción para su provecho (Portela, 2007).

Por la diversidad varietal existente, generada desde tiempos remotos, las interacciones y las respuestas van a depender de la cultivar que se emplee en el proceso productivo. En este sentido, Burba (1991) desarrolló un sistema de clasificación que permite agrupar las cultivares de ajo considerando la longitud de la dormición, estableciendo así cuatro grupos ecofisiológicos. Esta clasificación está siendo hoy actualizada como consta en el Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Clasificación actualizada de variedades de ajo cultivadas en Argentina en grupos ecofisiológicos (Portela J.A., 2013a)

Adaptación climática	Grupo Ecofisiológico (GE)	Subgrupo ecofisiológico	Época de crecimiento vegetativo	Duración del cultivo	Duración de la dormición
Ambiente tropical	GE I	--	estación seca	corta	muy corta
Ambiente subtropical	GE II	--	otoño-invierno	intermedia	corta
Ambiente templado a templado-frío	GE III	a-Entrega temprana	otoño-invierno	larga	intermedia
		b-Entrega tardía	otoño-fin de invierno		
		c-Entrega extra tardía	primavera-verano fríos	muy larga por invierno riguroso	

	GE IV	a-Entrega extra temprana	principio de primavera	larga	larga
		b-Entrega temprana	primavera		
		c-Entrega tardía	primavera		

La planta de ajo responde naturalmente a la temperatura y al largo del día (fotoperíodo), principales factores que controlan su desarrollo. Además, entre los factores ambientales que influyen en el éxito del cultivo, se encuentran también la disponibilidad de agua, la humedad relativa del ambiente, la radiación solar y la provisión de nutrientes; en este último caso, principalmente la provisión de nitrógeno, que resulta crítica cuando la demanda del cultivo es mayor (Portela, 1996; 2007). Lo anterior permite aproximarnos a la necesidad de lograr un equilibrio, optimizando el aprovechamiento de los recursos por unidad de superficie (Aljaro, 1990; Portela, 1996).

Se ha demostrado que existen importantes diferencias y ciertas coincidencias entre los patrones de respuesta de cultivares de distintos grupos ecofisiológicos, en la evolución del número de hojas verdes, la altura de la planta, la biomasa foliar, la biomasa del bulbo y la biomasa radical (Portela y Lucero, 2007; 2009); así como su adaptación diferencial a determinadas condiciones ambientales, siendo algunos más aptos a ambientes ricos en recursos y otros a ambientes medios a pobres (Lopez Frasca y Portela, 2006).

La respuesta diferencial de las distintas cultivares en relación a estas variables podría tener implicancias muy importantes en su capacidad para aprovechar eficientemente el ambiente y, por ende, contribuir a la definición de criterios agronómicos para un manejo más ajustado en el uso de los recursos.

De manera creciente, en el cultivo de ajo se plantea la necesidad de mejorar el aprovechamiento de los recursos que el ambiente y el productor, en su intervención, ofrecen, a fin de optimizar el rendimiento y minimizar el impacto ambiental ocasionado (Portela, 2011). Por ello, se vienen diseñando desde hace tiempo, alternativas tecnológicas que permitan elevar la eficiencia en el uso de los recursos y la optimización de la producción.

El agua y los nutrientes son ejemplos de estos recursos. Como se expuso, una alternativa plausible para alcanzar los objetivos buscados es el riego de precisión, que además de mejorar la eficiencia en el uso del agua permite la aplicación altamente dosificada y racional de fertilizantes químicos. Por otra parte, salir de las restricciones que imponen las prácticas tradicionales de distribución de agua, como son los surcos, posibilitaría aumentar el aprovechamiento del suelo disponible al incrementarse el número de plantas por unidad de superficie (Portela, 2011).

1.3 EL AJO Y LA DENSIDAD DE PLANTACIÓN

El cultivo de ajos de los tipos comerciales Blanco y Colorado en la provincia de Mendoza, se desarrolla con densidades de plantación que promedian las 300.000 plantas·ha⁻¹ para ajos Blancos y 270.000 plantas·ha⁻¹ en el caso de ajos Colorados, dependiendo de la zona de producción (Fundación IDR, 2011).

Una de las causas de la escasa productividad del ajo por unidad de superficie en la región es la baja densidad de plantación utilizada. La respuesta productiva del cultivo frente al aumento en esta variable se expresa mayoritariamente en un incremento de la producción por unidad de superficie; aunque esto puede dar lugar a la disminución del peso medio del bulbo por el aumento de la proporción de bulbos de tamaño chico (Reghin *et al.*, 2004; Castellanos *et al.*, 2004; Lipinski y Gaviola 2003; Arboleya *et al.*, 1997).

Considerando los resultados de Menezes *et al.* (1979), quienes probaron densidades de plantación muy superiores a las utilizadas en cultivos comerciales en Argentina, y la respuesta teórica planteada por Portela (1996), el inicio de la competencia intraespecífica (debida a la interacción de individuos de la misma especie) se establecería recién a valores de aproximadamente 200 plantas por metro cuadrado (Figura 1.1.), para luego continuar con un período de competencia máxima que revela una gran plasticidad de la especie (capacidad para mantener un resultado productivo similar bajo una amplia gama de condiciones); al menos en la dimensión espacial. Esto implica que el ajo es capaz de mantener alta productividad de biomasa en un amplio rango de densidades (entre las 300 y 500 plantas·m⁻²).

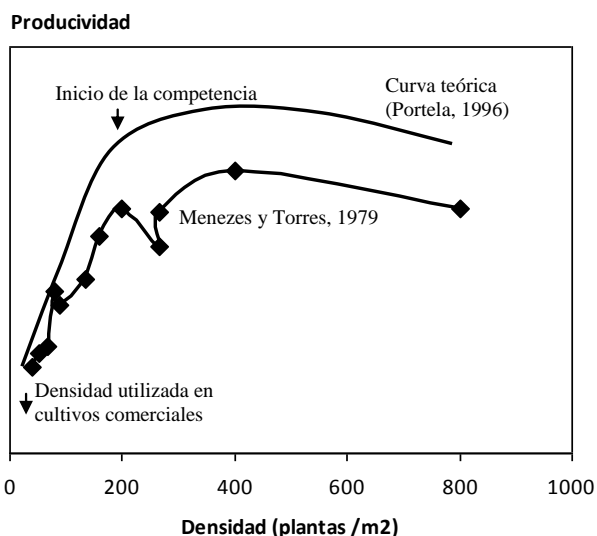


Figura 1.1. Efecto teórico de la densidad de plantación sobre la productividad de ajo. Tomado de Portela (1996)

Burba *et al.* (1987), midiendo el efecto de la densidad de plantación y el tamaño del bulbillito “semilla” sobre el rendimiento de ajo Rosado Paraguayo en el marco de plantación de cultivos comerciales de ajo, prueban un rango mucho menor de densidades, pero la tendencia de la curva de productividad que obtienen resulta equivalente a la curva teórica en su etapa lineal (Portela, 1996).

Castellanos *et al.* (2004), comprueban que el aumento de la densidad de plantación incrementa la producción de ajos, presentando los mejores valores con densidades de entre 300.000 y 420.000 plantas-ha⁻¹. Asimismo, mencionan la influencia que tiene el tamaño bulbillito semilla en la producción total y comercial, que aumenta al aumentar la biomasa del propágulo; efecto también observado por Minard (1978) y por Aljaro y Escaff (1976).

En general, todos los trabajos realizados hasta la actualidad, describen un aumento de la producción al incrementarse la densidad de plantación; es por ejemplo lo que observan Aljaro y Escaff (1976), ensayando densidades de entre 0,5 y 1,3 millones de plantas por hectárea. Sin embargo, los autores destacan que las densidades de plantación más altas comprometen el rendimiento comercial, dado por el tamaño individual de los bulbos. La máxima productividad se encontró con poblaciones de 1 a 1,3 millones de plantas por hectárea y la mejor calidad de bulbos con densidades de 500 mil a 666 mil plantas por hectárea (Aljaro y Escaff, 1976; Aljaro, 1990). Resultados similares lograron Cittadini y Romano (2004), ensayando con ajo Violeta Santacruceño.

Ensayos locales con riego por goteo en la cultivar Nieve INTA, ajo tipo comercial Blanco, frente a tres densidades de plantación (20, 30 y 40 plantas·m⁻²) y cinco dosis de nitrógeno, obtuvieron el máximo rendimiento con una densidad de plantación de 40 plantas·m⁻² y con dosis de N de 225 kg·ha⁻¹ (Lipinski y Gaviola, 2003).

Por su parte, se ha demostrado que la utilización de densidades de plantación crecientes tiene un efecto significativo sobre el rendimiento total de bulbos, incrementando la productividad pero a costa de aumentar el porcentaje de bulbos de menor tamaño (Lipinski y Gaviola, 2003; Arboleña *et al.*, 1997).

Otro aspecto a tener en cuenta para decidir la densidad de plantación será el destino de la producción, ya sea para consumo interno, exportación, semilla o industria (Aljaro, 1990). Según Aljaro y Escarff (1976), la distribución ideal de plantas que logra los mayores rendimientos en la producción orientada al consumo fresco es la que asegura un espacio de 10 cm² por planta. Pero una distribución de este tipo exige cultivar líneas muy próximas entre sí, en camas o en plano y con riego presurizado.

La arquitectura de la planta debe ser asimismo tenida en cuenta para decidir la distribución de las mismas en el campo. Existen variedades de rama corta y hojas anchas y abiertas, como así también de rama larga y hojas angostas y erectas, con toda una variación intermedia que plantea verdaderas diferencias en la capacidad de intercepción de luz (radiación fotosintéticamente activa) y en el modo de crecimiento (Burba, 2003b). También el contenido de clorofila en las hojas y la superficie foliar determinan la intercepción y absorción de luz. En este sentido, el aumento de la densidad de plantación incrementa el área fotosintéticamente activa por unidad de superficie (Moravcevic *et al.*, 2011), y por ende del rendimiento (Kilgori, 2007).

1.4 EL AJO Y EL NITRÓGENO

Las distintas cultivares disponibles para el cultivo en el país pueden presentar diferencias en el aprovechamiento del espacio y, en consecuencia, en la utilización de los recursos del ambiente (Portela y Lucero, 2007).

La respuesta del cultivo de ajo a varios niveles de fertilización nitrogenada es un aspecto que se ha venido estudiando largamente desde el siglo pasado, buscando optimizar tanto rendimiento como calidad. Las experiencias recopiladas de

diferentes regiones del mundo (Ruiz, 1985a; 1985b; Aljaro y Escaff, 1976; Minard, 1978; Zaman *et al.*, 2011; Navarrete *et al.*, 1991; Sotomayor, 1975; Marouelli *et al.*, 2002; Resende y Souza, 2001; Buwalda, 1986; Arboleya, 1997; Saluzzo, 2003; Grosso *et al.*, 2009; Lipinski *et al.* 1995; 1997; 1999; 2003; 2005; 2006; Gaviola *et al.*, 1991), en general concluyen en la gran importancia que tiene el nitrógeno en la producción de ajo.

Para definir la cantidad de nutrientes a aplicar al cultivo del ajo, es necesario considerar el nivel de fertilidad del suelo, conocer los patrones de crecimiento del ajo, la dinámica de extracción de nutrientes, la densidad de plantas utilizada y el suministro de agua (Arboleya *et al.*, 1997; Burba, 2003b; Navarrete *et al.*, 1991).

El crecimiento y la producción de ajos se encuentran estrechamente influenciados por el aporte de este nutriente, incrementándose el peso seco de las plantas y el rendimiento con la dosis de nutriente (Saluzzo, 2003; Resende *et al.*, 2000; Gaviola *et al.*, 1991; Escaff y Aljaro, 1982); aunque, esto ocurre hasta un punto en que, a mayores dosis, comienza a haber disminución de los rendimientos comerciales (Lipinski *et al.*, 2006, Resende y Souza, 2001; Marouelli *et al.*, 2002, Buwalda, 1986), dependiendo de la cultivar, la densidad de plantación y la cantidad de nitrógeno originalmente disponible en el suelo.

Por encima del rango óptimo de aportes, la provisión de nitrógeno promovería un desequilibrio fisiológico en el cultivo, con efectos detrimentales sobre la producción (Zaman *et al.*, 2011; Lipinski y Gaviola, 2003; Gaviola y Lipinski, 2004). Esto, lógicamente, disminuye la eficiencia en el uso del nutriente (Ruiz, 1985b; Navarrete *et al.*, 1991). Por otro lado, niveles de exceso del nutriente pueden promover procesos fisiológicos indeseables en las plantas de ajo, como el conocido comúnmente como “rebrote” (Portela, 1998; Ruiz, 1985b) que, por su importancia, será tratado en particular en el apartado siguiente.

La fertilidad temporal del suelo se verá afectada por la marcada movilidad del nitrógeno en el mismo; por ello, se aconseja dividir la dosis total del fertilizante en varias aplicaciones (Lipinski y Gaviola, 1997).

Como herramienta para facilitar la programación de la fertilización nitrogenada, tanto como para organizar otras prácticas de manejo del cultivo, se ha propuesto el uso de una escala ecofisiológica (Portela y Lucero, 2007; 2009), que permite describir el ciclo de crecimiento y desarrollo de la planta de ajo en relación con el ambiente (Figura 1.2).

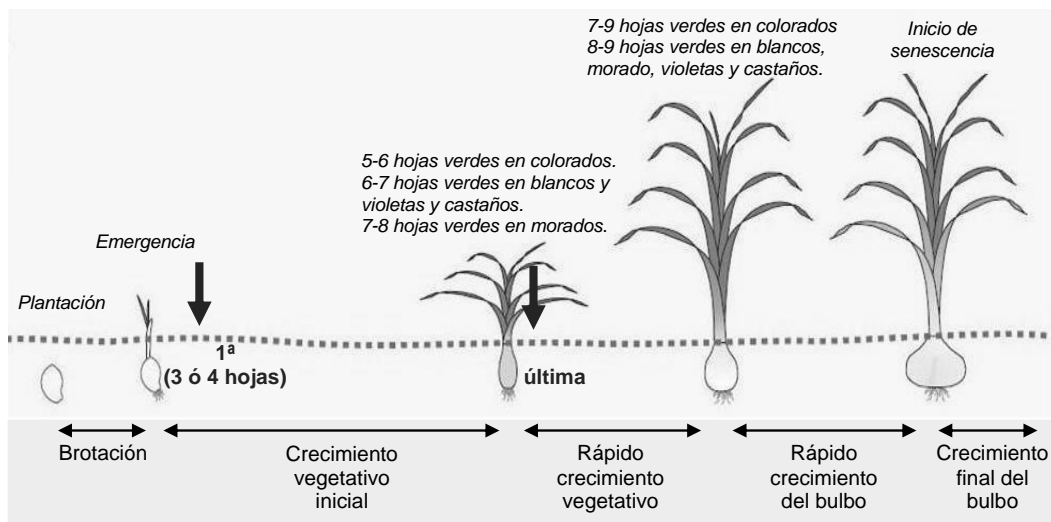


Figura 1.2. Criterios para programar la oportunidad de aplicación de fertilizantes nitrogenados en cultivos de ajo, empleando como base la escala ecofisiológica propuesta para la región de Cuyo. Tomado de Portela (2007) y adaptado con datos de Portela y Lucero (2009).

En esta escala se distinguen cinco etapas ecofisiológicas, entre plantación y cosecha, con las siguientes características distintivas:

1. Brotación, que se inicia con la plantación y finaliza con la emergencia de la hoja de brotación por sobre la superficie del suelo.

2. Crecimiento vegetativo inicial, etapa de bajo ritmo de acumulación de materia seca en la que esencialmente se expanden las raíces y las hojas preformadas en el bulbillo y a expensas de sus reservas.

3. Rápido crecimiento vegetativo, que se trata de una etapa de muy activo crecimiento de la parte aérea, con notable aumento de la altura de la planta y de la expansión de hojas. Es una etapa de suma importancia, ya que al comienzo de la misma tendría lugar el primer paso en el proceso de inicio de la bulbificación, que es la iniciación de las yemas laterales, y hacia su finalización ocurriría el segundo y último paso en este proceso, que consiste en la transición a hoja de reserva.

4. Rápido crecimiento del bulbo, que describe una etapa de muy activo crecimiento de la porción subterránea del vástago de la planta, a la máxima tasa de "llenado".

5. Crecimiento final del bulbo, en la que el ritmo de "llenado" del mismo disminuye respecto de la etapa anterior, mientras la planta se va acercando al estado de dormición; esta etapa es normalmente interrumpida por la cosecha

comercial del cultivo antes de que pudiese completarse la senescencia total del área foliar (Figura 1.2).

Durante el crecimiento inicial, la planta se abastecerá principalmente a expensas de las reservas del bulbillo. La fertilización del cultivo de ajo recomendada en la Región Andina Central de Argentina especifica el aporte de nitrógeno desde cuando la planta presenta entre 3 y 4 hojas expandidas y hasta el inicio de la etapa de rápido crecimiento vegetativo (última) (Figura 1.2).

Por otro lado, si se analiza la curva de absorción de nitrógeno (Figura 1.3), se observa que la tasa de absorción es muy lenta en los primeros 30 días después de brotación y aumenta significativamente a partir de los 100 días de la misma (momento de rápido crecimiento de la parte aérea), para luego sostenerse a menor ritmo durante la fase de rápido crecimiento del bulbo, por lo que su aportación en este periodo podría mejorar los rendimientos, aunque evitando siempre el suministro en la etapa de rápido crecimiento vegetativo que coincide con el inicio de la bulbificación, lo que podría ocasionar efectos negativos al promover el crecimiento secundario (desarrollado al final de este capítulo).

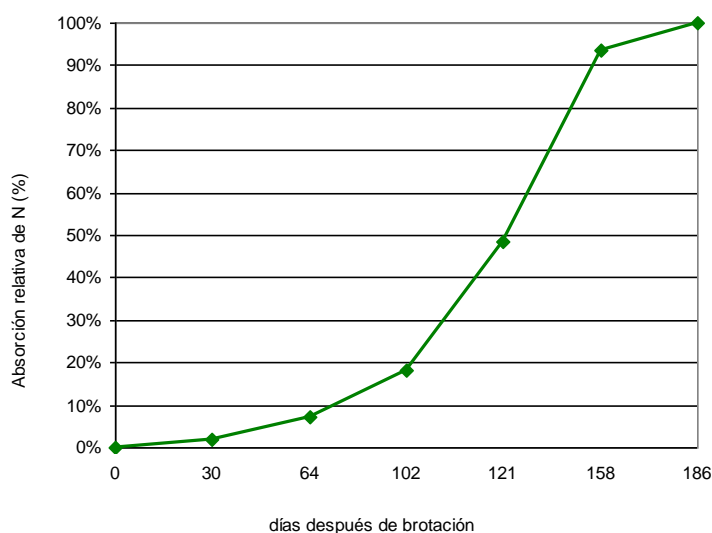


Figura 1.3. Absorción relativa de nitrógeno durante el cultivo de ajo Colorado. Adaptado de Lipinski *et al.* (1997).

La absorción de nitrógeno depende del agua presente en el suelo. Existe además una relación inversa entre la cantidad de agua aplicada y el contenido foliar de nutrientes (Navarrete, 1991). Algunas hipótesis atribuyen este hecho a un fenómeno de dilución de nitrógeno en una mayor biomasa vegetativa. Sin embargo, menores cargas de agua logran menores rendimientos y menor extracción de

nutrientes. Por lo tanto, puede decirse que, al aumentar la dotación de riego, aumenta la cantidad de nitrógeno absorbido por unidad de superficie pero disminuye la concentración del mismo en los tejidos foliares.

Por otra parte, el volumen de suelo explorado por las raíces también es de fundamental importancia al considerar la disponibilidad de nutrientes. Como se vio, los requerimientos de la planta tienen sus máximos incrementos a partir del inicio de la bulbificación, estableciéndose desde ese momento una etapa de disponibilidad crítica, la que se extiende hasta la mitad de la fase de crecimiento del bulbo (Gaviola de Heras *et al*, 1991).

Existe un aspecto relevante adicional en cuanto a la absorción de nutrientes, el cual tiene que ver con la capacidad o no de emitir el tallo floral que presentan los distintos tipos de ajo. En este sentido, aquellos cultivares que lo emiten, presentan un patrón de absorción de nitrógeno dentro de la planta distinto al de los cultivares que no lo hacen (Gaviola de Heras *et al*, 1991). No obstante, estos patrones pueden modificarse en función de la disponibilidad que exista de nitrógeno; y si esta es suficiente, los patrones de absorción de los ajos que florecen (Colorados) se asemejan a los que no lo hacen (Blancos).

Esto indica la existencia en la especie de sentidos del crecimiento modular alternativos, de acuerdo con la disponibilidad de recursos que presente el ambiente, y sustenta nuevamente la idea de una gran plasticidad en su posibilidad de adaptación (Portela, 1996), disminuyendo en este caso la proporción de materia seca del tallo floral y favoreciendo la de los bulbos (Gaviola de Heras *et al.*, 1991).

En ajo Colorado de la variedad Español (Figura 1.4), plantado con una densidad aproximada de $60 \text{ plantas} \cdot \text{m}^{-2}$, fue posible establecer una asociación directa entre la dosis aplicada de nitrógeno, el rendimiento y la extracción este elemento. Se observa un aumento en la extracción del N y en el rendimiento por efecto de la dosis aplicada hasta valores de $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, sobre este valor, la planta no absorbe más nitrógeno como tampoco aumenta el rendimiento (Ruiz, 1985b).

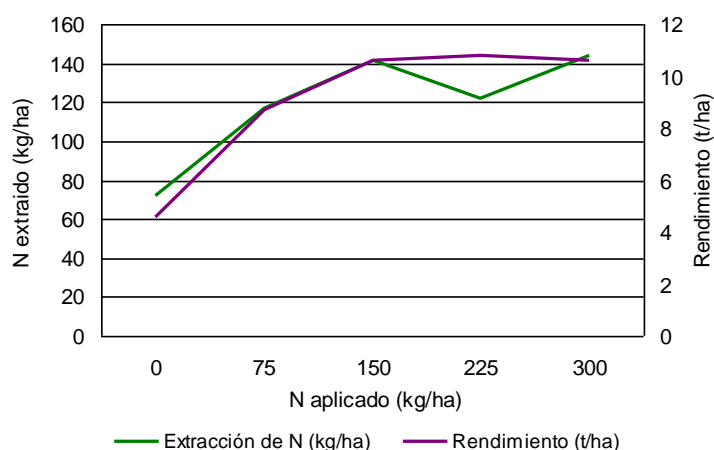


Figura 1.4. Extracción total de nitrógeno y rendimiento de ajo variedad Español, en función de la dosis de nitrógeno aplicada. Elaboración propia en base a Ruiz (1985b).

De manera coincidente con los resultados anteriores, Lipinski y Gaviola (2003) encontraron que las dosis de nitrógeno que maximizan los rendimientos, tanto en ajo Blanco como Colorado, se encuentra entre $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ y $225 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Esto, no sólo en el rendimiento total, sino también en el tamaño individual de los bulbos.

1.5 EL CRECIMIENTO SECUNDARIO EN EL AJO

Una vez superado el primer paso en el proceso de inicio de la bulbificación, y hasta la ocurrencia del segundo, queda establecido un período en el crecimiento de la planta de ajo en que, si las condiciones ambientales son promotoras del crecimiento vegetativo (bajas temperaturas, días cortos, alta disponibilidad de nitrógeno y agua, plantaciones poco densas), la planta continuará vegetando pero ya no a partir del ápice principal sino de los puntos de crecimiento laterales que se hubiesen iniciado, dando lugar así a la manifestación del crecimiento secundario, comúnmente denominado “rebrote” (Portela, 2005).

Densidad de plantación y disponibilidad de nitrógeno son dos de los factores que determinan la aparición del crecimiento secundario en el cultivo, aunque no tendrían importancia principal en determinar su incidencia sino en la severidad con que se manifiesta (Portela, 1998).

Así, la baja densidad de plantas podría acarrear la promoción de brotes laterales por baja competencia en el espacio por los recursos (Reghin *et al.*, 2004), mientras que al incrementar la densidad de plantas se disminuye el porcentaje de crecimiento vegetativo secundario (en portugués, *pseudoperfilhamento*). Asimismo, la incidencia de “rebrote” (porcentaje de bulbos “rebrotados”) puede ser

promocionada por excesos de nitrógeno y por su aplicación fuera de época (Resende y Souza, 2001).

1.6 CONSIDERACIONES FINALES

Los ajos Blancos y Colorados, pertenecientes respectivamente a los grupos ecofisiológicos (GEs) III y IV de la clasificación argentina, presentan importantes diferencias entre sí en aspectos fisiológicos, aunque tienen a la vez grandes semejanzas en los requerimientos ambientales, dados por su origen, lo que lleva a incluirlos en el mismo grupo Sativum dentro de *Allium sativum* (Portela *et al.*, 2012). Representan a su vez, los tipos de ajo tradicionalmente cultivados en Argentina, diferenciando la oferta nacional en el contexto internacional (Burba, 2003a).

Del análisis de la información presentada y ante la necesidad de sentar las bases para el cambio tecnológico que requiere el cultivo en el país, surge el interrogante de cuán diferente podrá ser la respuesta de ajos de estos grupos ecofisiológicos frente al efecto combinado de la densidad de plantación y la provisión de nitrógeno.

Asimismo, qué requisitos y qué limitaciones tendrá la exigencia de aumentar la productividad del cultivo y, a la vez, mejorar la eficiencia en el uso del nitrógeno. Considerando la posibilidad de generalizar el empleo del riego presurizado, ¿será posible mejorar la eficiencia de aplicación y uso del nitrógeno fraccionando la dosis entre el crecimiento vegetativo inicial y el rápido crecimiento de bulbo?

Como resultado del trabajo de tesis propuesto, se espera mejorar la definición de criterios para adecuar los programas de manejo de cultivos de ajo, optimizando el uso del nitrógeno y del espacio dentro de los GEs III y IV (*Allium sativum* grupo Sativum).

Esto permitirá llegar a propuestas de innovación en la ingeniería de cultivo en la región, tanto como a la proposición de futuras investigaciones en las que se amplíe y profundice la problemática estudiada.

El trabajo adquiere especial relevancia frente a un contexto de costos de producción y de conciencia ambiental crecientes. La producción de ajo posee una gran importancia económica para la región cuyana, con elevado impacto social a raíz de la gran cantidad de personas y familias involucradas en toda la cadena agroalimentaria.

1.7 FINALIDAD DE LA PRESENTE TESIS

Los objetivos y las hipótesis asociadas pretenden contribuir a mejorar la comprensión de la naturaleza de las respuestas de las distintas cultivares que constituyen la oferta que diferencia a nuestro País en los distintos mercados, frente a la variación de los ambientes en términos de disponibilidad de nitrógeno y densidad de plantación.

1.7.1 Hipótesis de trabajo

1. Clones de distinta precocidad de cosecha, y similar requerimiento fotoperiódico para bulbificar, responden de manera diferencial al efecto combinado de densidad de plantación y modalidad de provisión de nitrógeno.

2. Es factible mejorar la eficiencia de uso de nitrógeno fraccionando la dosis entre el crecimiento vegetativo inicial y el rápido crecimiento de bulbo

3. Existe interacción clon-ambiente en la respuesta de esos clones de ajo, frente al efecto combinado de los niveles probados de los factores agronómicos en estudio.

1.7.2 Objetivo general

El objetivo de este trabajo es generar conocimiento para optimizar el aprovechamiento del espacio y del nitrógeno aplicado en cultivos de ajos de origen mediterráneo, evaluando la respuesta al efecto combinado de densidades de plantación y modalidades de fertilización nitrogenada en la localidad de La Consulta, Valle de Uco (San Carlos, Mendoza).

1.7.3 Objetivos específicos

1: Estudiar la respuesta de clones de distinta precocidad de cosecha pero similar requerimiento fotoperiódico para bulbificar, frente a variaciones combinadas de densidad de plantación y modalidad de provisión de nitrógeno.

2: Probar el efecto de repartir la provisión de nitrógeno en función de las curvas de absorción del cultivo de ajo (GEs III y IV en la localidad de La Consulta), restringiéndola durante la etapa de rápido crecimiento vegetativo (en que tiene lugar el proceso de inicio de la bulbificación).

3: Determinar la existencia de interacción clon-ambiente en la respuesta de los clones frente a ese efecto combinado, e interpretarla en función de covariables fisiológicas y ambientales.

CAPÍTULO II

RESPUESTA DE CLONES DE AJO, GRUPOS III b Y IV b, EN LOS AMBIENTES PROBADOS

2.1. INTRODUCCIÓN

El crítico escenario generado por la creciente disminución en la disponibilidad de agua para la agricultura en la región de Cuyo y el aumento en los costos de producción de ajo, marca la necesidad de incrementar los rendimientos por unidad de superficie, bajando los costos medios y optimizando el aprovechamiento de los recursos.

El logro de este objetivo requiere generar nuevos criterios que optimicen la utilización de los recursos naturales y económicos disponibles para el Ajo Argentino en la región (Portela, 2011).

En la actualidad, la aplicación de sistemas de fertilización poco eficientes y el uso de densidades de plantación relativamente bajas (menores a 300.000 plantas·ha⁻¹; Fundación IDR, 2011), reflejan altos costos de producción y bajos rendimientos.

Asimismo, se viene generando un progresivo cambio tecnológico en la región dado por la incorporación de sistemas de riego presurizado que permitirían no sólo aumentar la eficiencia en el uso de agua de riego, sino también la mejora en el aprovechamiento del nitrógeno y el aumento en la población de plantas por acercamiento de líneas de cultivo.

En este sentido, se han realizado numerosos trabajos para determinar los efectos de la distribución de plantas por unidad de superficie (Reghin *et al.*, 2004; Castellanos *et al.*, 2004; Lipinski y Gaviola 2003; Arboleya *et al.*, 1997; Menezes *et al.* 1979; Portela, 1996; Burba *et al.* 1987; Castellanos *et al.* 2004; Aljaro y Escaff, 1976; Aljaro, 1990; Cittadini y Romano, 2004; Moravcevic *et al.*, 2011), así como de las dosis y la dinámica de extracción de nutrientes que maximizan la producción y la calidad de ajos (Ruiz, 1985a; 1985b; Aljaro y Escaff, 1976; Minard, 1978; Zaman *et al.*, 2011; Navarrete *et al.*, 1991; Sotomayor, 1975; Marouelli *et al.*, 2002; Resende *et al.*, 2000; Resende y Souza, 2001; Buwalda, 1986; Arboleya, 1997; Macedo *et al.*, 2009; Saluzzo, 2003; Grosso *et al.*, 2009; Siliquini *et al.*, 2007; Lipinski *et al.* 1995; 1997; 1999; 2003; 2004; 2006; Gaviola *et al.*, 1991; Burba, 2003b). Sin embargo, en su mayoría los trabajos abordan los temas planteados en forma

aislada entre sí. Es por eso que este trabajo propone estudiar las respuestas en el cultivo generadas de forma combinada.

Las cultivares clonales pertenecientes a los grupos ecofisiológicos (GEs) IIIb y IVb (clasificación argentina actualizada; Portela, 2013a) son las que permiten diferenciar la oferta argentina al mundo (Burba, 2003a). Éstas, presentan grandes diferencias en aspectos morfológicos, productivos y de precocidad de cosecha pero, a la vez, muestran similitudes en patrones de crecimiento y desarrollo consecuentes con el hecho de ser originarios de una misma zona de adaptación climática (Portela *et al.*, 2012).

Estos patrones de crecimiento siguen en general una secuencia de cinco etapas desde la plantación a la cosecha (Portela, 2013a). Las mismas son:

1. Brotación, entre finales del verano y otoño, regulada esencialmente por el tiempo térmico (grados-día) y por la disponibilidad de agua;
2. Crecimiento vegetativo inicial, durante otoño e invierno, caracterizada por lento ritmo de acumulación de materia seca, y cuya duración depende de las temperaturas mínimas imperantes durante la estación invernal y del fotoperíodo alcanzado hacia fines de la misma;
3. Rápido crecimiento vegetativo, entre finales de invierno y mediados de la primavera, caracterizado por un activo crecimiento de la parte aérea y regulado por la marcha de las temperaturas medias en el rango óptimo para el crecimiento; el principio de esta etapa coincide aproximadamente con el primer paso en el proceso de inicio de la bulbificación;
4. Rápido crecimiento del bulbo, durante primavera, en la que se alcanza la máxima tasa de acumula materia seca en el bulbo y es regulada por la ocurrencia de temperaturas mínimas elevadas; esta etapa sucede inmediatamente después de superado el segundo paso en el proceso de inicio de la bulbificación;
5. Crecimiento final del bulbo, hacia finales de la primavera y comienzo del verano, en donde la tasa de “llenado” del bulbo disminuye respecto de la etapa anterior y también es regulada por las temperaturas mínimas diarias.

Tomando de referencia las etapas antes mencionadas, y con el objetivo de mejorar la comprensión de las relaciones que existen entre diferentes poblaciones de plantas y la provisión de nitrógeno a variedades de ajo de origen mediterráneo, se propone estudiar la respuesta expresada en crecimiento y rendimiento frente al efecto combinado de estas dos variables de manejo del cultivo.

Se pretende, en particular: 1) caracterizar la respuesta de clones mediterráneos de distinta precocidad de cosecha frente a diferentes combinaciones de poblaciones de plantas y provisión de nitrógeno, y 2) probar el efecto de repartir la dosis de fertilizante nitrogenado en función de las curvas de absorción del cultivo de ajo, fraccionándola entre el crecimiento vegetativo inicial y el rápido crecimiento del bulbo, pero restringiéndola durante la etapa de rápido crecimiento vegetativo.

2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

En un ensayo multiambiental llevado cabo durante el ciclo 2012 en la Estación Experimental Agropecuaria La Consulta INTA (San Carlos, Mendoza; 33,7° S, 69,7° O, 950 msnm), se probaron 3 cultivares clonales de los grupos ecofisiológicos IIIb y IVb, en 6 ambientes conformados por la combinación de 2 densidades de plantación y 3 modalidades de fertilización nitrogenada.

Las cultivares empleadas fueron Unión (GE IIIb), Gostoso INTA (GE IVb) y Rubí INTA (GE IVb). La elección de estas cultivares buscó representar el rango de fechas óptimas de cosecha y, por consiguiente, las diferentes duraciones del período de bulbificación, existente entre los ajos mediterráneos (Grupo Sativum; Portela, 2013a) cultivados en Mendoza, Argentina.

El diseño experimental fue en bloques completos al azar con 3 repeticiones (Figura 2.1). Cada parcela, de 5,6 m², se conformó con 154 o 308 bulbillos (dependiendo de la densidad de plantación), distribuidos en dos líneas simples o dobles (cuatro líneas) respectivamente, sobre dos camas a 0,8 m entre centro y centro. Se establecieron borduras entre experimentos (ambientes) plantadas únicamente con la cultivar Rubí INTA, que es la de cosecha más tardía entre las aquí probadas. La plantación se realizó el 27 de marzo y la distancia en la línea de plantación fue uniforme cada 0,09 m entre plantas.

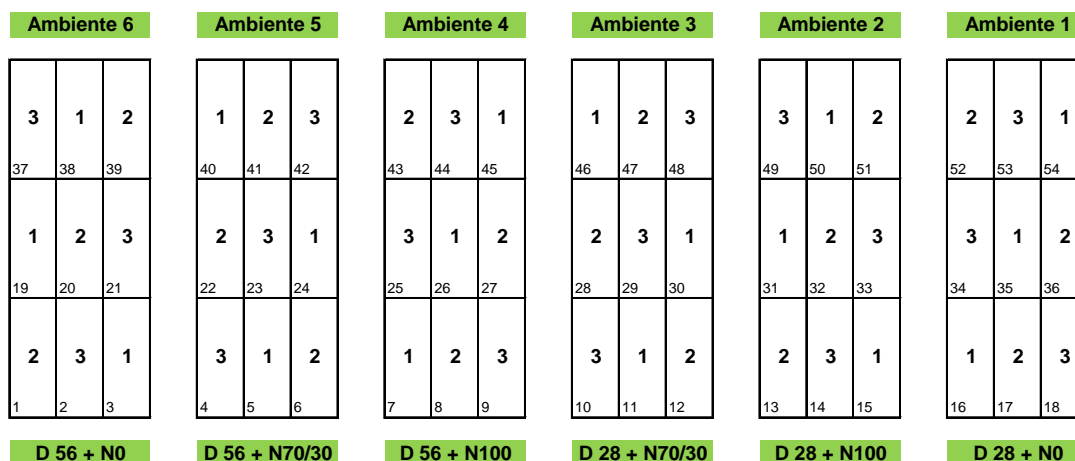


Figura 2.1. Diseño del ensayo multiambiental con tres cultivares clonales de ajo en seis ambientes conformados por la combinación de densidades de plantación y modalidades de aporte de nitrógeno. Referencias: 1, Unión; 2, Gostoso INTA; 3, Rubí INTA. D28, 280.000 plantas/ha; D56, 560.000 plantas/ha. N0, sin agregado de nitrógeno; N100, 180 kg N/ha hasta inicio de bulbificación; N70/30, 127 kg N/ha hasta inicio de bulbificación y 53 kg N/ha a partir del rápido crecimiento del bulbo.

Para evitar distorsiones en las respuestas que se observasen, la semilla utilizada fue seleccionada de un lote de bulbos multiplicados en la misma Estación Experimental.

Previo a la plantación se registró peso y calibres de bulbos “madre” y peso medio de los bulbillos de esos bulbos. Además se calculó el índice visual de superación de la dormición (IVD) que relaciona en un corte longitudinal del bulbillo el largo de la hoja de brotación con el de la hoja de reserva (Burba, 1983), tomando el promedio de 15 bulbillos de cada cultivar (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Peso medio del bulbo madre (pmedma), peso medio de bulbillos del bulbo madre (psmedma), porcentaje de calibres del bulbo madre e índice visual de dormición.

Clon	pmedma (g)	psmedma (g)	C5	C6	IVD
Unión	50,8	5,05	52%	48%	62%
Rubí INTA	52,9	4,94	32%	68%	46%
Gostoso INTA	34,8	3,72	100%	0%	39%

Referencias: C5, porcentaje de bulbos madres con diámetro ecuatorial entre 46 y 55 mm; C6, porcentaje de bulbos madres con diámetro ecuatorial entre 56 y 65 mm; pmedma, peso medio del bulbo madre; psmedma, peso medio de bulbillos del bulbo madre; IVD=hoja de brotación/hoja de reserva*100, índice visual de dormición.

Las láminas de riego (Tabla 2.2) fueron calculadas sobre la base de la evaporación de un tanque A, existente a escaso metros del sitio del ensayo. Para la distribución del agua se utilizó cintas de riego por goteo Stramline (Netafim), colocadas en el medio de la cama de siembra, con tres emisores por metro lineal, quedando una hilera de plantas simple o doble de cada lado, dependiendo de la

densidad de plantación. El caudal de los emisores fue de aproximadamente 2,7 L·h⁻¹.

Tabla 2.2. Resumen de la evaporación bruta del tanque A (EB), la lámina de riego (dr), la precipitación efectiva (pp), lámina total (dr+pp) y el número de riegos totales realizados durante el cultivo, según cultivar.

Clon	EB (mm)	dr (mm)	pp (mm)	dr+pp (mm)	NR
Unión	766,1	607,7	144,2	751,9	74
Gostoso INTA	782,0	627,0	145,0	772,0	76
Rubí INTA	884,8	677,3	153,0	830,4	84

Para caracterizar las condiciones edáficas del sitio de los experimentos, previo al establecimiento del cultivo se tomaron dos muestras compuestas de suelo hasta 30 cm de profundidad. Se trató de un suelo de origen aluvial, de textura franco arenosa fina, profundos (Torrifluente típico), con condiciones homogéneas entre los dos sectores muestreados (Tabla 2.3).

Tabla 2.3. Características físico-químicas del horizonte superficial (0-30 cm) del suelo en el sitio de los experimentos.

Muestra	N total (mg/kg)	P disponible (mg/kg)	K intercambiable (mg/kg)	Mat Org %	pH	Conductividad eléctrica (dS/m)	Volumen de sedimentación
Este	629	6,59	409	0,82	7,93	3,72	92
Oeste	570	4,52	383	0,94	7,87	3,95	93

Referencias: N total, determinado por el método de Kjeldalh modificado; P intercambiable, determinado por extracción carbónica relación 1:10; K intercambiable, determinado por el método de extracción amonio-acetato. Volumen de sedimentación expresado en mL%g.

Se probaron tres modalidades de provisión de nitrógeno: N0, sin agregado durante todo el ciclo de cultivo; N100, suministrando el 100% de la dosis hasta inicio de bulbificación; y N70/30, aplicando el 70% de la dosis hasta inicio de bulbificación y el 30% restante durante el rápido crecimiento del bulbo (Tabla 2.4). En los experimentos en los que se agregó nitrógeno la dosis empleada fue siempre de 180 kg·ha⁻¹. La fuente empleada para ello fue la formulación “Nutri 264-25%” (25-0-0), de Nutriterra. Las aplicaciones se realizaron por fertigación mediante dosificadores tipo *bypass*.

Tabla 2.4. Planes de fertilización cumplidos según modalidades de aplicación.

Nº de fertilización	Fecha de aplicación	Día del año	N 70/30 dosis en kg/ha	N 100 dosis en kg/ha
1	05/06/2012	157	7	10
2	06/07/2012	188	7	10
3	31/07/2012	213	14	20
4	14/08/2012	227	18	25
5	28/08/2012	241	25	35
6	11/09/2012	255	28	40
7	25/09/2012	269	28	40
8	30/10/2012	304	28	0
9	07/11/2012	312	26	0
Total	-	-	180	180

Referencias: día del año, número de día comenzando con 1 el 1° de enero; N70/30, 70% del nitrógeno aplicado hasta inicio de bulbificación y 30% durante el rápido crecimiento del bulbo (ambientes A3 y A5); N100, fertilización sólo hasta inicio de bulbificación (ambientes A2 y A4).

Durante el cultivo se registró periódicamente, dos veces por semana, el número de plantas emergidas hasta alcanzar el 80%. Asimismo, en 12 oportunidades hasta el inicio de cosecha, se registró el número de hojas verdes en 4 plantas por parcela, previamente identificadas al inicio del ensayo.

Sólo en dos oportunidades (días 276 y 298) se registró el índice relativo de clorofila (IRC) con un Spad 502, Minolta. En cada medición se tomaron lecturas en 10 hojas adultas (cuarta hoja comenzando desde la más joven) por parcela, tomando como valor el promedio en cada una ellas expresado en Unidades Spad (US).

Por otro lado, en tres momentos en particular (día 249, día 311 y cosecha según cultivar), se realizó el muestreo destructivo de 4 plantas por parcela sobre las que se determinó altura, número de hojas verdes, área foliar (estimada a partir de la medición del largo y el ancho medio de cada lámina), y peso fresco y seco (en estufa, a 65 °C hasta peso constante) de cuatro porciones del vástago de la planta: láminas, vainas, bulbo y escapo.

Asimismo, hacia el día 325 se registró el número de plantas con “rebrote” (crecimiento secundario) y la severidad del mismo (número de hojas principales con rebrote por planta), en cada parcela.

La cosecha se realizó en forma escalonada dependiendo de la “entrega” de cada cultivar, comenzando por Unión (día 332), luego Gostoso INTA (día 334) y por último Rubí INTA (día 346). Una vez recolectadas, las plantas de la parcela útil (las dos hileras internas de cada parcela) se almacenaron en bolsas de red, para

mantener su identificación, y se las colocó en galpón ventilado, a resguardo del sol y del agua de lluvia, durante 30 días hasta completar el curado (deshidratado natural de las hojas envolventes del bulbo).

Cumplido el curado, se procedió al corte de hojas y raíces, tal como se realiza en los empaques para exportación, para registrar las variables de rendimiento (variables respuesta): número de bulbos por categoría de diámetro (Tabla 2.5) y peso de esos bulbos, con los que se calcularon el peso y el diámetro medios de los bulbos de cada parcela.

Tabla 2.5. Categorías de bulbos por diámetro ecuatorial (calibre) según normas de calidad aplicadas en Argentina (Burba, 2003).

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

A fin de determinar la ganancia de peso seco de bulbos por unidad de nitrógeno agregado (g de peso seco / g de nitrógeno), se calculó la eficiencia agronómica de uso del nitrógeno (Lipinski *et al.*, 2006b) para cada cultivar y fecha de muestreo en los ambientes fertilizados.

A los efectos de realizar un análisis comparativo del crecimiento entre los clones probados, se dividió el período de cultivo en tres etapas determinadas por las fechas en las que se realizó los muestreos destructivos. Vale aclarar que la primera y la segunda fecha fueron próximas a los momentos en los que, para el sitio del ensayo, ocurren los cambios de etapas ecofisiológicas (Portela, 2013a): del crecimiento vegetativo inicial al rápido crecimiento vegetativo, para la primera, y del rápido crecimiento vegetativo al rápido crecimiento del bulbo, para la segunda. Luego, los extremos del período de cultivo quedan definidos por el momento en que se alcanzó el 80% de emergencia y por la fecha en que se realizó la cosecha de cada clon.

Para el análisis estadístico de los datos se empleó el software Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2008). Se realizaron análisis de varianza y las diferencias entre valores medios se estudiaron mediante prueba de diferencia mínima significativa, para alfa igual a 0,05.

2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.3.1. Peso medio, diámetro medio de bulbos, rendimiento total y rendimiento exportable

En términos relativos entre clones (Tabla 2.6), Rubí INTA logró los mayores valores de rendimiento individual (peso medio de bulbo) en los ambientes con menor densidad de plantas (28 plantas·m²). Unión lo hizo con la población más alta (56 plantas·m²). Gostoso INTA, por su parte, presentó el peor desempeño en todos los experimentos.

Tabla 2.6. Peso medio de bulbo (g) por clon en cada ambiente probado.

Ambiente	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Aplicación de N	0	100	70/30	100	70/30	0
Densidad (plantas/m ²)	28	28	28	56	56	56
Gostoso INTA	24,91 c	36,44 b	35,33 a	26,84 c	27,09 b	18,98 a
Rubí INTA	44,72 a	47,26 a	47,58 a	32,4 b	31,01 b	20,98 a
Unión	36,51 b	41,7 ab	42,64 a	37,14 a	37,35 a	26,16 a

Referencias: Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre clones para un mismo ambiente, según prueba de LSD de Fisher ($\alpha=0,05$). Referencias para modalidades de aplicación de nitrógeno: 0, sin agregado de fertilizante; 100, dosis total hasta inicio de bulbificación; 70/30, 70% de la dosis hasta inicio de bulbificación y 30% durante el rápido crecimiento del bulbo.

Al analizar el diámetro medio de bulbo se estableció que Unión logró los promedios más elevados en todos los ambientes, y llegó a diferenciarse de manera estadísticamente significativa de los clones del GE IVb en los ambientes de alta densidad de plantas (Tabla 2.7).

Tabla 2.7. Diámetro medio de bulbo (cm) por clon en cada ambiente probado.

Ambiente	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Aplicación de N	0	100	70/30	100	70/30	0
Densidad (plantas/m ²)	28	28	28	56	56	56
Gostoso INTA	4,07 b	4,93 b	4,83 b	4,13 c	4,23 b	3,33 b
Rubí INTA	4,70 a	5,27 a	5,13 a	4,47 b	4,47 b	3,40 b
Unión	4,87 a	5,43 a	5,27 a	4,97 a	4,93 a	4,33 a

Referencias: Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre clones para un mismo ambiente, según prueba de LSD de Fisher ($\alpha=0,05$). Referencias para modalidades de aplicación de nitrógeno: 0, sin agregado de fertilizante; 100, dosis total hasta inicio de bulbificación; 70/30, 70% de la dosis hasta inicio de bulbificación y 30% durante el rápido crecimiento del bulbo.

En general, en los ambientes donde la densidad de plantación fue mayor los diámetros medios de bulbo obtenidos fueron menores, tanto en ajo blanco tardío (GE IIIb) como en colorado (GE IVb). En los ambientes en los que no se realizó

agregado de nitrógeno ocurrió esto mismo. Estos resultados eran esperables y coinciden con los obtenidos por Lipinski *et al.* (2003) en ajo blanco tardío, en donde en los tratamientos sin fertilizar y en los que se aumentaba la densidad de plantación hubo dominancia de bulbos de escaso diámetro (calibres 3 y 4; Tabla 2.5). Asimismo, concuerdan con Arboleya *et al.* (1997a) y Sotomayor (1975), quienes determinaron en ajos colorado y rosado respectivamente, que el aumento de la cantidad de plantas por unidad de superficie genera un efecto detrimental en el calibre de los bulbos. Por otro lado, Aljaro *et al.* (1976), probando densidades muy superiores a las anteriores, obtuvieron resultados similares. Estos resultados serían manifestaciones de la competencia que se establece por el espacio físico y sus recursos, tanto en altas densidades de plantación como en ambientes restringidos en nutrientes.

En líneas generales, Unión logró los mejores resultados en rendimiento total en los ambientes con mayor población de plantas (Tabla 2.8). En tanto, en los ambientes con menor población de plantas fue Rubí INTA el que se destacó. Coincidentemente, el porcentaje de rendimiento exportable, constituido por los bulbos de calibres 5, 6 y 7 (diámetros transversales entre 46-55 mm, 56-65 mm y 66-75 mm, respectivamente), disminuyó drásticamente en los clones del GE IVb (colorados) cuando se dispusieron en la más alta densidad, mientras que en Unión esto sólo disminuyó levemente su proporción exportable (Tabla 2.8).

Esta última situación no coincidió totalmente con lo observado anteriormente en ajos blancos tardíos (Lipinski, 2003), en donde el aumento de la densidad modificó sensiblemente el porcentaje de bulbos de tamaño exportable en la cultivar Nieve INTA, aunque esto podría deberse a la diferente plasticidad de las cultivares de ajo blanco utilizadas. En cuanto a la respuesta observada en los ajos los colorados, fue la esperada y en completa concordancia con los resultados obtenidos por Arboleya *et al.* (1997b).

Tabla 2.8. Porcentaje de bulbos por diámetro (%C), rendimiento total (Rend.) y porcentaje de bulbos exportables (%Exp.) estimados por clon y para cada ambiente.

Ambiente	Clon	%C3	%C4	%C5	%C6	%C7	Rend. t·ha ⁻¹	% Exp.
A1	Gostoso INTA	11	70	19	-	-	6,9	19
	Rubí INTA	-	31	66	3	-	10,4	69
	Unión	-	25	64	10	1	9,0	75
A2	Gostoso INTA	-	7	92	1	-	10,7	93
	Rubí INTA	-	3	70	27	-	13,6	97
	Unión	-	1	53	47	-	12,1	99
A3	Gostoso INTA	-	15	84	1	-	9,9	85
	Rubí INTA	-	4	79	17	-	13,1	96
	Unión	-	5	67	27	1	10,8	95
A4	Gostoso INTA	6	75	19	-	-	14,4	19
	Rubí INTA	-	56	44	-	-	17,5	44
	Unión	-	10	82	8	-	19,5	90
A5	Gostoso INTA	2	74	25	-	-	15,3	25
	Rubí INTA	5	42	53	-	-	17,7	53
	Unión	-	13	81	6	-	18,9	87
A6	Gostoso INTA	68	31	2	-	-	9,3	2
	Rubí INTA	63	36	1	-	-	10,0	1
	Unión	11	44	44	1	-	13,9	45

Referencias: Los ambientes están constituidos de la siguiente forma: A1, con 28 plantas·m⁻² y N0; A2, con 28 plantas·m⁻² y N100; A3, con 28 plantas·m⁻² y N70/30; A4, con 56 plantas·m⁻² y N100; A5, con 56 plantas·m⁻² y N70/30; A6, con 56 plantas·m⁻² y N0.

Además, el rendimiento de la cultivar Rubí INTA fue superior al de Gostoso INTA en todos los ambientes; resultado similar a los obtenidos en trabajos previos (Lipinski *et al.*, 2006a). Sin embargo, esos autores concluyen que para densidades de 40 plantas·m² la dosis óptima para Rubí INTA se aproximaría a 150 kg de nitrógeno por hectárea, mientras que el rendimiento de Gostoso INTA se maximizaría con 300 kg. Es decir que cada cultivar presentaría una respuesta diferencial a la fertilización nitrogenada. Vale recordar que en el presente estudio se utilizó una única dosis total de 180 kg de nitrógeno por hectárea, en todos los ambientes fertilizados.

Para intentar explicar las respuestas antes presentadas, se analizaron distintas variables de crecimiento registradas durante el cultivo. No obstante, antes de comenzar es importante mencionar que los ajos colorados (GE IVb) tienen la particularidad de emitir tallo floral (escapo), mientras que Unión (GE IIIb) no lo hace, marcando una diferencia importante a la hora de evaluar el crecimiento y desarrollo de estos clones. Por otro lado, por cuestiones de practicidad y por restricciones experimentales, en el presente trabajo se realizó una única plantación, aun cuando se probaron clones con distinta precocidad de brotación. En este sentido, es bien conocido que las fechas óptimas de plantación para las cultivares de ajo colorado,

en una misma localidad, son posteriores a la de los ajos blancos (Portela *et al.*, 2007).

2.3.2. Número de hojas verdes

Entre las variables de mayor utilidad para describir el crecimiento y desarrollo del cultivo se encuentra el número de hojas verdes (Portela *et al.*, 2007). Las hojas constituyen la porción más importante de la planta en términos de actividad fotosintética (Moracevic *et al.*, 2011); su número, superficie y contenido de clorofila determinan la cantidad de luz solar absorbida, y la biomasa producida.

En la Figura 2.2 se destaca la semejanza en la forma de las curvas de respuesta del número de hojas verdes para todos los clones, independientemente del ambiente en el que crecieron. En ellas se puede diferenciar una fase de crecimiento inicial hasta aproximadamente el día 240 (Fase I), luego una de rápido crecimiento vegetativo con máximos alrededor del día 300 (Fase II), y por último, luego de mantenerse por un corto periodo, una fase de pendiente negativa, consecuencia de la intensa removilización de fotoasimilados desde las hojas hacia el bulbo y el tallo floral, en las cultivares que lo emiten (Fase III). Esta fase final se desarrolló en aproximadamente 32 días en Unión, 34 días en Gostoso INTA y 46 días en Rubí INTA, y se encuentra asociada a la etapa de rápido crecimiento del bulbo.

Estos patrones de crecimiento coinciden con los descritos en estudios previos (Portela, 2005; Portela *et al.*, 2007) y marcan una importante semejanza entre estos clones en el ajuste de su ciclo de vida al ambiente, a pesar de las diferencias existente en términos morfológicos y fisiológicos. La explicación de esto se encontraría en el hecho que los grupos ecofisiológicos a los que pertenecen presentan adaptación climática a una misma zona de origen (la del Mediterráneo), lo que determina que la respuesta al fotoperíodo, que es la que indica el comienzo de la bulbificación, sea muy similar entre ellos (Portela *et al.*, 2007).

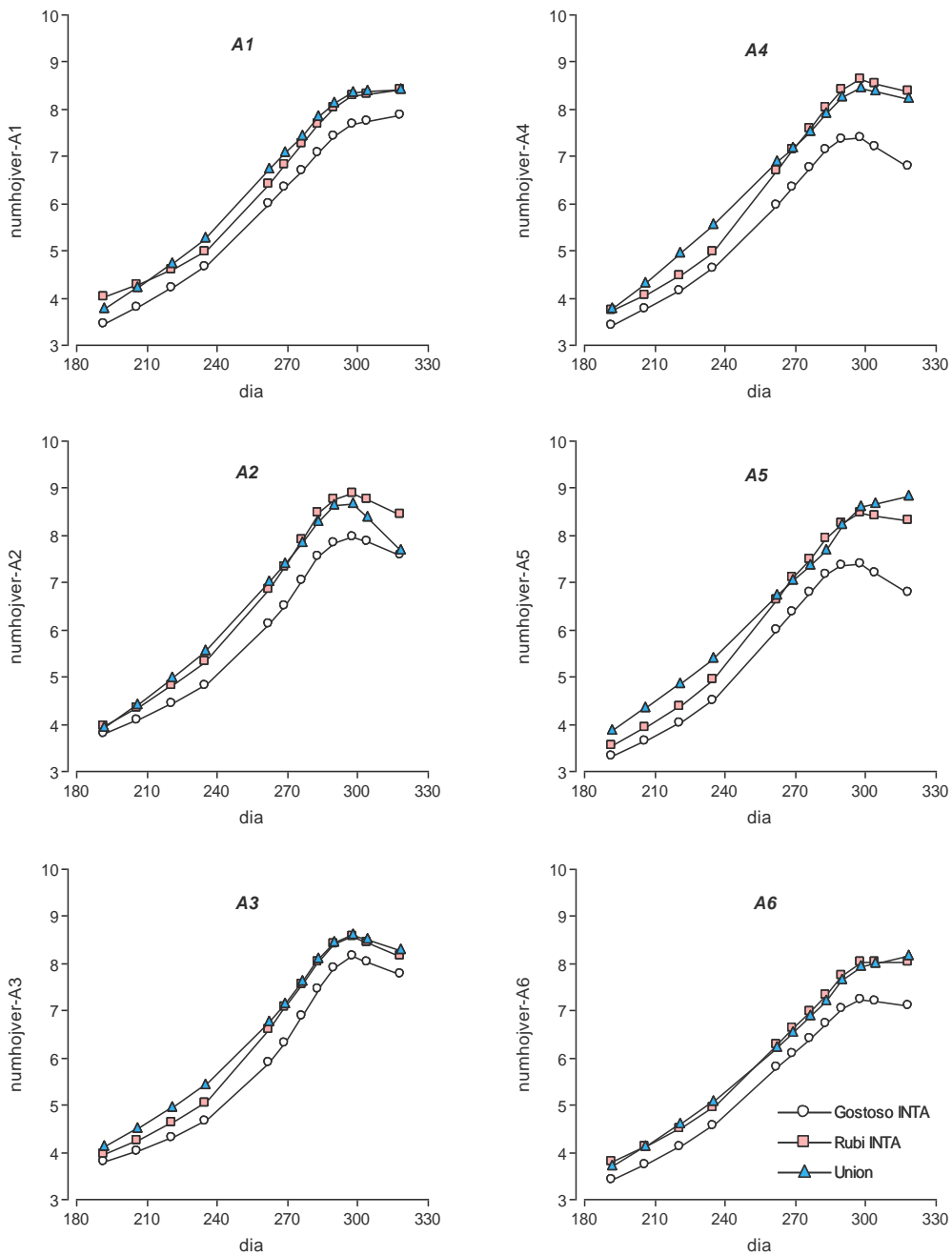


Figura 2.2. Evolución del número de hojas verdes por planta (numhojver) ajustadas por el modelo de regresión localmente ponderada (LOWESS), en tres clones de ajo. Referencias: Los ambientes están constituidos de la siguiente forma: A1, con 28 plantas·m⁻² y N0; A2, con 28 plantas·m⁻² y N100; A3, con 28 plantas·m⁻² y N70/30; A4, con 56 plantas·m⁻² y N100; A5, con 56 plantas·m⁻² y N70/30; A6, con 56 plantas·m⁻² y N0.

Cabe destacar que, para facilitar la visualización de los patrones, las curvas presentadas en la Figura 2.2 han sido suavizadas mediante un modelo de regresión localmente ponderada (Di Rienzo *et al.*, 2008). Por ello, no se muestran los valores máximos promedio reales calculados para el número de hojas verdes, que en Rubí INTA y Unión se encontraron entre 8 y 9 hojas, y en Gostoso INTA fueron algo inferiores, en el orden de 7,5 hojas.

Estos resultados son similares a los presentados por Portela y Lucero, (2007) que muestran patrones de crecimientos para distintos clones de ajo entre los que se encuentran Unión y Gostoso INTA. Ahora bien, en la Figura 2.2 puede observarse que en los ambientes sin fertilización nitrogenada (A1 y A6), una vez alcanzado el máximo el número de hojas verdes se mantuvo con tendencia constante en los tres clones hasta el día 318 (última medición a campo). Esto podría estar indicando una mayor frecuencia de reposición de hojas en estos ambientes, o más probablemente una mayor duración de las mismas, pero en cualquier caso se presenta como un efecto de ajuste a esas condiciones ambientales, caracterizadas por mayor restricción en la disponibilidad de recursos (principalmente, nitrógeno), de forma tal de compensar en cierta medida esa restricción.

Por otro lado, en las cultivares del GE IVb establecidas en alta densidad (56 plantas·m²) se observa cierta tendencia a presentar un menor valor máximo del número de hojas verdes respecto a los ambientes con mayor espaciamiento de plantas (28 plantas·m²). En Unión, en cambio, el máximo número de hojas verdes promedio para cada ambiente no se habría visto afectado por el aumento de la población de plantas (A4 y A5), pero fue postergado unos pocos días respecto a los ambientes de baja densidad.

Estas observaciones están en concordancia con otros trabajos donde se ha señalado que las plantas de *Allium* poco espaciadas tienden a crecer menos vegetativamente y producir menor cantidad de hojas por planta. Al respecto, Hossain *et al.* (2003) en ajo, y Saleem (2004) en cebolla, también reportaron una disminución en el número de hojas consecuencia de incrementos en la densidad de plantas.

Por su parte, al analizar el índice relativo de clorofila (IRC), que se encuentra asociado a la cantidad de nitrógeno disponible en el suelo (ver Capítulo III del presente trabajo), se determinó que en ambientes sin agregado de nitrógeno se obtuvieron valores promedios inferiores a los ambientes en donde sí se realizó el aporte de ese nutriente. Asimismo, semejante a lo obtenido por Mujica (2012), en

ambientes de alta densidad se registraron valores inferiores de IRC respecto a aquellos cultivados con menor densidad de individuos. Esto está asociado a un mayor desarrollo de biomasa fotosintética (peso seco de hojas hacia el día 311) en plantas que se encuentran en ambientes menos competitivos. Ahora bien, estas relaciones comentadas tienen implicancias para el presente estudio, ya que podría ser posible inferir a partir de la medición directa del IRC, el estado de desarrollo de la biomasa fotosintetizante y su relación con el nitrógeno disponible, que en definitiva generará respuestas diferenciales en el rendimiento del cultivo.

2.3.3. Producción de materia seca total por planta

Durante la Etapa I (hasta el día 249), Unión logra mayor peso seco total en todos los ambientes, diferenciándose significativamente en casi todos los casos (excepto en A6) de Gostoso INTA, y de Rubí INTA en A3 y A5 (Tabla 2.9). Estos resultados coinciden con lo observado por otros autores (Saluzzo *et al.*, 2010; Portela, 2013a) para ajos blancos y colorados en esta etapa del cultivo.

Tabla 2.9. Peso seco total por planta (g), por clon y por ambiente, en 3 momentos clave del cultivo.

Día	Clon	A1	A2	A3	A4	A5	A6
249	Gostoso INTA	1,11 b	1,21 b	1,11 c	1,08 b	1,27 b	1,25 a
	Rubí INTA	1,31 ab	1,56 a	1,43 b	1,57 a	1,45 b	1,32 a
	Unión	1,55 a	1,83 a	1,70 a	1,82 a	2,16 a	1,71 a
311	Gostoso INTA	12,28 c	14,26 b	11,2 b	12,3 b	11,23 b	10,16 a
	Rubí INTA	16,00 b	20,27 a	19,65 a	16,18 a	18,26 a	14,32 a
	Unión	17,18 a	21,75 a	17,34 a	16,79 a	18,65 a	12,49 a
cos	Gostoso INTA	19,71 b	21,52 b	23,23 b	15,91 c	17,08 c	13,63 b
	Rubí INTA	28,63 a	34,48 a	31,63 a	24,44 a	27,89 a	22,49 a
	Unión	22,48 ab	22,22 b	20,58 b	21,8 b	24,34 b	17,11 b

Referencias: Los ambientes están constituidos de la siguiente forma: A1 con 28 plantas·m⁻² y N0; A2 con 28 plantas·m⁻² y N100; A3 con 28 plantas·m⁻² y N70/30; A4 con 56 plantas·m⁻² y N100; A5 con 56 plantas·m⁻² y N70/30; A6 con 56 plantas·m⁻² y N0. Los días de cosecha (cos) fueron 332 (Unión), 334 (Gostoso INTA) y 346 (Rubí INTA). Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05) entre clones para un mismo ambiente, según prueba de LSD de Fisher (alfa=0,05).

En la Etapa II (entre los días 249 y 311), Unión y Rubí INTA no muestran diferencias estadísticamente significativas entre sí en la materia seca que logran acumular en el vástago (excepto en A1), y tampoco son diferentes en la tasa de acumulación, manteniendo en todos los ambientes el mismo patrón (Tabla 2.10). Por su parte, Gostoso INTA es el que menor peso seco logra al final de esta etapa, diferenciándose significativamente de Rubí INTA y Unión tanto en este valor como en la tasa de crecimiento (con excepción del A6). En este caso, los resultados

difieren en parte de los señalados por otros autores (Saluzzo *et al.*, 2010), que indican valores más elevados en los ajos blancos que en los colorados.

Tabla 2.10. Tasa de crecimiento absoluta del peso seco total por planta ($\text{g}\cdot\text{día}^{-1}$), por clon y ambiente.

Ambiente		A1	A2	A3	A4	A5	A6
Aplicación de N		0	100	70/30	100	70/30	0
Densidad (plantas/m ²)		28	28	28	56	56	56
Etapa II	Gostoso INTA	0,18 b	0,21 b	0,16 b	0,18 b	0,16 b	0,14 a
	Rubí INTA	0,24 a	0,30 a	0,29 a	0,24 a	0,27 a	0,21 a
	Unión	0,25 a	0,35 a	0,25 a	0,24 a	0,27 a	0,17 a
Etapa III	Gostoso INTA	0,32 a	0,32 a	0,52 a	0,16 a	0,25 a	0,15 a
	Rubí INTA	0,36 a	0,41 a	0,34 ab	0,24 a	0,28 a	0,22 a
	Unión	0,25 a	0,02 b	0,15 b	0,24 a	0,27 a	0,23 a

Referencias: Etapa II, desde el día 249 al 311; Etapa III, desde el día 311 a cosecha. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre clones para un mismo ambiente, según prueba de LSD de Fisher ($\alpha=0,05$). Los ambientes están constituidos de la siguiente forma: A1, con 28 plantas·m⁻² y N0; A2, con 28 plantas·m⁻² y N100; A3, con 28 plantas·m⁻² y N70/30; A4, con 56 plantas·m⁻² y N100; A5, con 56 plantas·m⁻² y N70/30; A6, con 56 plantas·m⁻² y N0.

En la Etapa III (entre el día 311 y cosecha), Rubí INTA fue el que acumuló el mayor peso seco total, diferenciándose de los otros clones probados en todos los ambientes. Por su parte, el clon del GE IIIb acumuló significativamente mayor peso seco total que Gostoso INTA en A4 y A5 (Tabla 2.9). En tanto, en las parcelas con baja densidad (28 plantas·m⁻²) fertilizadas, los clones del GE IVb presentaron tasas de crecimiento muy superiores a las de Unión (Tabla 2.10), mientras que en alta densidad (56 plantas·m⁻²), no se encontraron diferencias significativas entre clones.

Cabe destacar algunas diferencias en los patrones de variación de las tasas de crecimiento absolutas entre la Etapa II y la Etapa III (Tabla 2.10). En los ambientes cultivados con 28 plantas·m⁻² las cultivares del GE IVb incrementan su ritmo de crecimiento, mientras que Unión lo disminuye drásticamente (excepto en A1). En cambio, en los ambientes con 56 plantas·m⁻² las cultivares no se diferenciaron en sus ritmos de acumulación de materia seca total.

Estas diferencias en la respuesta de los clones durante la etapa de rápido crecimiento del bulbo, tanto en la materia seca total lograda como en su ritmo de acumulación, podrían indicar en términos relativos, que en ambientes no tan competitivos, el GE IVb presenta mayor tasa de crecimiento que el GE IIIb (lo que concuerda con Stahlschmidt *et al.*, 1997), mientras que en sitios con mayor competencia por los recursos, ambos equiparan sus ritmos de crecimientos, mejorando la respuesta relativa de los blancos y mesurando la de los colorados. Es decir, que el desempeño de cada GE en términos de estas variables, difieren al

modificarse la densidad de plantación posiblemente como mecanismo de ajuste de las plantas a la disponibilidad de recursos que ofrece el ambiente de cultivo. Dichos mecanismos de ajuste están afectados durante esta etapa por la marcha de la temperatura en el microclima del vástago aéreo (dato no medido en este trabajo), que afectaría la eficiencia fisiológica para producir materia seca por unidad de área foliar como la eficiencia para redistribuirla al bulbo (Tabla 2.8). En este sentido, los ajos blancos alcanzan similares peso seco total en todos los ambientes.

2.3.4. Evolución de la biomasa foliar (peso seco de laminas de hojas)

En general se destaca la similitud de los patrones de crecimiento entre cultivares para todos los ambientes (Figura 2.3). El peso seco de hojas evoluciona lentamente durante la Etapa I, para luego presentar una máxima tasa de crecimiento durante la Etapa II y por último exponer una marcada disminución hasta la entrega del cultivo, coincidente con lo señalado por Gaviola de Heras *et al.*, (1991) y Portela (2005).

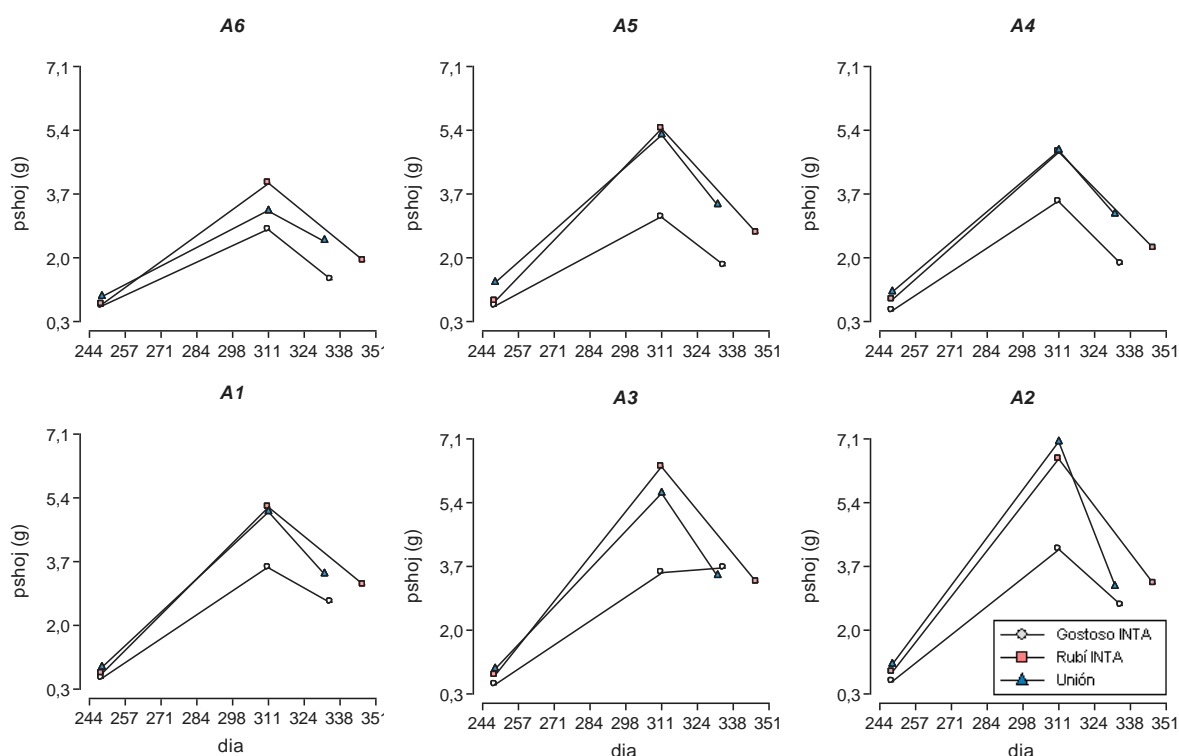


Figura 2.3. Perfil de variación del peso seco de láminas de hojas (pshoj) de tres cultivares de ajo por ambiente, en las Etapas II y III consideradas en este estudio. Referencias. Los ambientes están constituidos de la siguiente forma: A1, con 28 plantas·m⁻² y N0; A2, con 28 plantas·m⁻² y N100; A3, con 28 plantas·m⁻² y N70/30; A4, con 56 plantas·m⁻² y N100; A5, con 56 plantas·m⁻² y N70/30; A6, con 56 plantas·m⁻² y N0. Nota: la Etapa I corresponde al periodo comprendido entre plantación (y 0 g por hoja) hasta el día 249.

Por su parte, el área foliar (Tabla 2.11) acompañó la evolución del peso seco de hojas en los tres muestreos realizados. Esta respuesta concuerda con lo presentado por Stahlschmidt *et al.* (1997), Saluzzo (2003) y Moravcevic *et al.* (2011).

Tabla 2.11. Área foliar (cm²) por planta, para cada clon y ambiente, en 3 momentos del cultivo.

Día	Clon	A1	A2	A3	A4	A5	A6
249	Gostoso INTA	80 b	88 b	80 a	80 c	96 b	99 a
	Rubí INTA	116 a	127 a	150 a	128 b	122 b	105 a
	Unión	127 a	137 a	130 a	147 a	174 a	134 a
311	Gostoso INTA	415 b	453 b	417 b	437 b	409 b	342 a
	Rubí INTA	560 a	650 a	628 a	570 a	618 a	490 a
	Unión	583 a	734 a	609 a	571 a	590 a	413 a
cos	Gostoso INTA	235 a	220 a	272 a	162 a	176 a	142 a
	Rubí INTA	269 a	259 a	265 a	198 a	246 a	167 a
	Unión	247 a	233 a	207 a	197 a	213 a	145 a

Referencias: Los ambientes están constituidos de la siguiente forma: A1, con 28 plantas·m⁻² y N0; A2, con 28 plantas·m⁻² y N100; A3, con 28 plantas·m⁻² y N70/30; A4, con 56 plantas·m⁻² y N100; A5, con 56 plantas·m⁻² y N70/30; A6, con 56 plantas·m⁻² y N0. Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05) entre clones para un mismo ambiente, según prueba de LSD de Fisher (alfa=0,05).

Sin embargo se determinaron algunas diferencias en los valores alcanzados por las variedades dependiendo de los ambientes de cultivo.

La cultivar Gostoso INTA fue la que mostró el peor desempeño en todos los ambientes y todos los muestreos, en peso seco de hojas (pshoj) y área foliar (areafol).

Durante la Etapa I, Unión logra acumular mayor peso seco de hojas en todos los ambientes, lo que es esperable de acuerdo con su mayor adaptación a las condiciones de otoño (propia del G IIIb; Portela, 2013). Sin embargo, sólo logró diferenciarse significativamente en los ambientes A3 y A5 (modalidad de fertilización 70/30). Por su parte, Rubí INTA presentó mayor peso seco que Gostoso INTA, posiblemente por su mayor potencial natural de rendimiento y por la mayor cantidad de reservas en la "semilla" utilizada en estos ensayos (Tabla 2.1).

En esta primera etapa, el área foliar desarrollada corresponde a las hojas preformadas durante la dormición, que comienzan a expandirse a expensas de las reservas del bulbillo. Sólo en los ambientes A4 y A5, esta variable resultó significativamente mayor para Unión respecto de los clones del GE IVb, posiblemente por un lado, a su mejor desempeño durante la salida del invierno, anticipando algunos días (entre 3 y 7) su emergencia a los ajos colorados, como

por otro, a que podría presentar mayor eficiencia de uso del nitrógeno disponible en el suelo, ventaja que se expresa en la respuesta diferencial frente a Rubí INTA y Gostoso INTA, cuando los ambientes generan mayor competencia por los recursos.

Al finalizar la Etapa II, hacia el día 311, Unión y Rubí INTA no se diferencian significativamente en el peso seco de hojas ni en el área foliar desarrollado en ningún ambiente. Por su parte, Gostoso INTA logró siempre valores muy por debajo de los alcanzados por las otras variedades, aunque siguiendo el patrón general de respuesta.

Durante este período, la tasa de crecimiento absoluta, con base en el peso seco de hojas (sólo sus láminas), fue similar para Unión y Rubí INTA dentro de cada ambiente y superior a la de Gostoso INTA en todos ellos. Estas tendencias coinciden con los resultados obtenidos por otros autores (Gaviola de Heras *et al.*, 1991).

Tabla 2.12. Peso seco hojas (láminas) por planta (g), por clon y por ambiente, en 3 momentos clave del cultivo.

Día	Clon	A1	A2	A3	A4	A5	A6
249	Gostoso INTA	0,60 b	0,65 b	0,57 c	0,57 b	0,70 b	0,70 a
	Rubí INTA	0,72 ab	0,90 a	0,81 b	0,88 a	0,84 b	0,75 a
	Unión	0,87 a	1,07 a	0,95 a	1,10 a	1,33 a	0,95 a
311	Gostoso INTA	3,52 b	4,15 b	3,52 b	3,50 b	3,06 b	2,74 a
	Rubí INTA	5,16 a	6,57 a	6,35 a	4,82 a	5,45 a	4,01 a
	Unión	5,01 a	7,02 a	5,64 a	4,87 a	5,29 a	3,23 a
cos	Gostoso INTA	2,64 a	2,68 a	3,65 a	1,84 b	1,79 c	1,42 b
	Rubí INTA	3,10 a	3,24 a	3,31 a	2,26 b	2,67 b	1,91 b
	Unión	3,36 a	3,16 a	3,45 a	3,15 a	3,42 a	2,45 a

Referencias: Los ambientes están constituidos de la siguiente forma: A1 con 28 plantas·m⁻² y N0; A2 con 28 plantas·m⁻² y N100; A3 con 28 plantas·m⁻² y N70/30; A4 con 56 plantas·m⁻² y N100; A5 con 56 plantas·m⁻² y N70/30; A6 con 56 plantas·m⁻² y N0. Los días de cosecha (cos) fueron 332 (Unión), 334 (Gostoso INTA) y 346 (Rubí INTA). Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05) entre clones para un mismo ambiente, según prueba de LSD de Fisher (alfa=0,05).

Ahora bien, se observaron algunas tendencias específicas al duplicar la densidad para una misma modalidad de fertilización. En ese sentido, el peso seco de hojas por planta para todas las cultivares fue menor, como también la tasa de crecimiento, con la mayor densidad de plantas (Tablas 2.12 y 2.13). En tanto, con 28 plantas·m⁻², todos los clones presentaron menor peso seco de hojas en los tratamientos en los que se fraccionó la dosis de nitrógeno (modalidad N70/30) respecto a los ambientes sin fraccionamiento, mientras que en alta densidad sólo Gostoso INTA presentó menor peso seco, y Rubí INTA y Unión, lo aumentaron. Esta respuesta es similar cuando se analiza el área foliar. En los ambientes A1 y A6

(no fertilizados), los valores de estas dos variables disminuyen al duplicarse la densidad.

Es decir, que hacia el día 311, el incremento de la densidad, generó mayor competencia intraespecífica por los recursos, presuntamente por la menor cantidad de nitrógeno en los ambientes sin aportes del nutriente, generando efectos restrictivos en el desarrollo el área fotosintética como en el peso seco de las hojas. Además, cuando el espacio fue escaso ($56 \text{ plantas}\cdot\text{m}^{-2}$), la modalidad N70/30 permitió mejorar la producción de biomasa aérea (Tabla 2.11 y Tabla 2.12) en Rubí INTA y Unión respecto a los tratamientos N100, posiblemente por el mayor periodo de disponibilidad del nutriente en el suelo ocasionado por el continuo aporte del fertilizante luego del día 269, momento en el cual, la modalidad N100 cumplió su última dosis del plan de fertilización establecido. Por su parte en los ambientes menos densos, las cultivares probadas se desempeñaron mejor con aportes del total del nitrógeno antes del comienzo de rápido crecimiento vegetativo, consecuencia del mayor área foliar que desarrollaron hasta ese momento.

Tabla 2.13. Tasa de crecimiento absoluta del peso seco hojas por planta ($\text{g}\cdot\text{día}^{-1}$), por clon y ambiente.

Ambiente		A1	A2	A3	A4	A5	A6
Aplicación de N		0	100	70/30	100	70/30	0
Densidad ($\text{plantas}/\text{m}^2$)		28	28	28	56	56	56
Etapa II	Gostoso INTA	0,05 b	0,06 b	0,05 b	0,05 a	0,04 b	0,03 a
	Rubí INTA	0,07 a	0,09 a	0,09 a	0,06 a	0,07 a	0,05 a
	Unión	0,07 a	0,10 a	0,08 a	0,06 a	0,06 a	0,04 a
Etapa III	Gostoso INTA	(0,04) a	(0,06) a	0,01 a	(0,07) a	(0,06) a	(0,06) a
	Rubí INTA	(0,06) a	(0,10) a	(0,10) b	(0,07) a	(0,08) a	(0,06) a
	Unión	(0,08) a	(0,18) b	(0,09) b	(0,08) a	(0,09) a	(0,04) a

Referencias: Etapa II, desde el día 249 al 311; Etapa III, desde el día 311 a cosecha. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre clones para un mismo ambiente, según prueba de LSD de Fisher ($\alpha=0,05$). Los ambientes están constituidos de la siguiente forma: A1, con $28 \text{ plantas}\cdot\text{m}^{-2}$ y N0; A2, con $28 \text{ plantas}\cdot\text{m}^{-2}$ y N100; A3, con $28 \text{ plantas}\cdot\text{m}^{-2}$ y N70/30; A4, con $56 \text{ plantas}\cdot\text{m}^{-2}$ y N100; A5, con $56 \text{ plantas}\cdot\text{m}^{-2}$ y N70/30; A6, con $56 \text{ plantas}\cdot\text{m}^{-2}$ y N0.

Al analizar el índice de área foliar (iaf), lógicamente se determinó que en las densidades superiores el valor aumenta para todos los clones (Tabla 2.11), ya que hay mayor cantidad de hojas para una misma unidad de superficie. Además, en todos los ambientes esta variable fue significativamente superior para Unión y Rubí INTA respecto de Gostoso INTA.

Durante el periodo III (hasta cosecha), y en los ambientes de alta densidad, Unión logró diferenciarse de los clones del GEIVb, manteniendo en las hojas mayor

peso seco foliar remanente, y sólo en el A5 Rubí INTA presentó diferencias estadísticamente significativas respecto de Gostoso INTA. En tanto, en los ambientes de baja densidad no se observaron diferencias entre clones dentro de los ambientes. Respecto al área foliar a cosecha, no hubo diferencias entre clones para ninguno de los ambientes probados.

Resulta interesante que, a excepción del A2, en donde Unión casi duplicó el ritmo de decrecimiento, no se encontraron diferencias en la tasa de variación del peso seco de hojas entre clones para cada ambiente. Otro dato interesante está dado por Gostoso INTA, que en el A3 no mostró variaciones sensibles entre el día 311 y la cosecha (día 334).

La evolución de la biomasa foliar, expresada en este trabajo como peso seco de hojas, en general presentó una dinámica similar a la del número de hojas verdes; resultados estos coincidentes con los presentados en trabajos anteriores (Portela *et al.* 2009 y 2013b).

2.3.5. Evolución de la biomasa del bulbo (peso seco de la porción subterránea del vástago).

Los perfiles de variación del peso seco del bulbo (“psbul” en la Figura 2.4) muestran algunas diferencias y similitudes entre clones dependiendo del ambiente de cultivo en el que se desarrollaron

Fundamentalmente las grandes diferencias se presentaron durante la Etapa III (entre el día 311 y la cosecha), con respuestas similares a las comentadas por Portela (2007) quien propone que sería aproximadamente una misma señal ambiental (un determinado valor del largo del día) el desencadenante del inicio de llenado de los bulbillos, tanto en las cultivares de ajo del GE IIIb como en las del GE IVb.

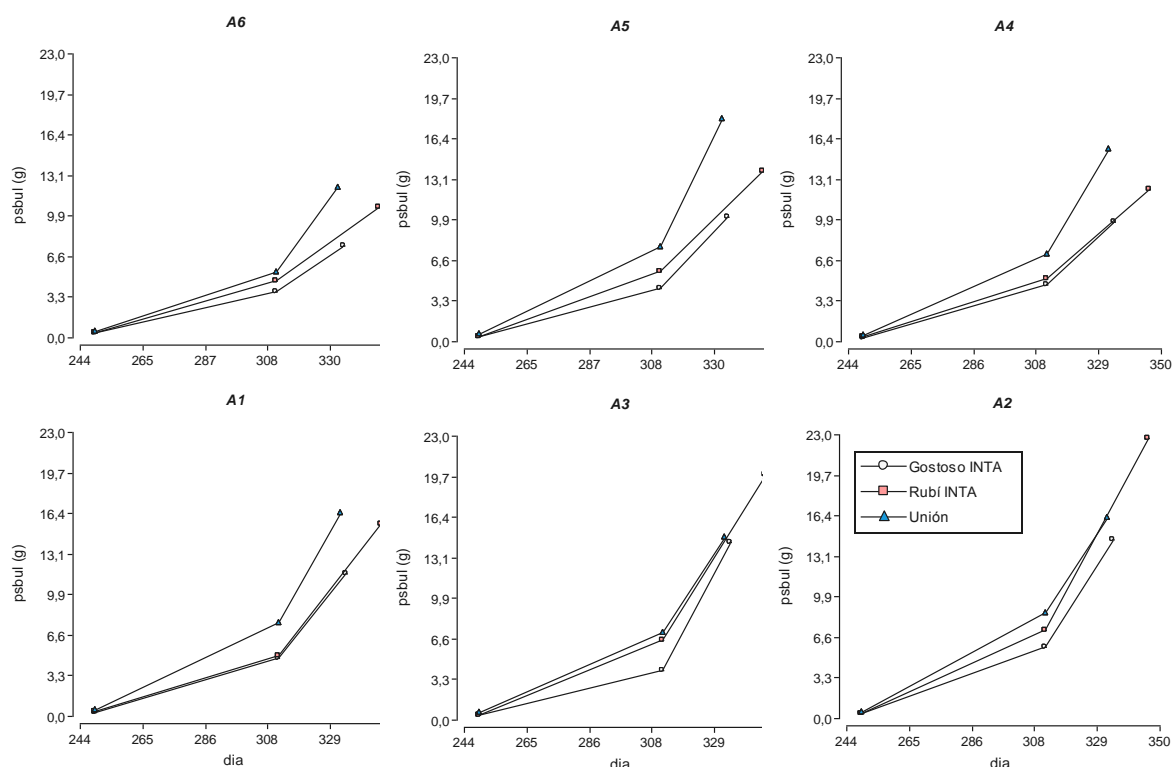


Figura 2.4. Perfil de variación del peso seco de bulbo (psbul) de tres cultivares de ajo por ambiente, en las Etapas II y III consideradas en este estudio. Referencias. Los ambientes están constituidos de la siguiente forma: A1, con 28 plantas·m⁻² y N0; A2, con 28 plantas·m⁻² y N100; A3, con 28 plantas·m⁻² y N70/30; A4, con 56 plantas·m⁻² y N100; A5, con 56 plantas·m⁻² y N70/30; A6, con 56 plantas·m⁻² y N0.

Partiendo del perfil de variación del peso seco de bulbo entre los tres muestreos realizados se describe el desarrollo de las etapas estudiadas en este trabajo, complementando el análisis con el ritmo de crecimiento de cada uno de los materiales en los diferentes ambientes ensayados.

Durante la Etapa I (hasta el día 249 correspondiente al 5 de septiembre), Unión (GE IIIb) ganó mayor peso seco en todos los ambientes, diferenciándose significativamente de los exponentes del GE IVb (excepto en A1), mientras que estos últimos lograron acumular valores semejantes en todos los ambientes (Tabla 2.14).

Tabla 2.14. Peso seco del bulbo por planta (g), por clon y por ambiente, en 3 momentos clave del cultivo.

Día	Clon	A1	A2	A3	A4	A5	A6
249	Gostoso INTA	0,32 b	0,37 b	0,37 b	0,33 b	0,38 b	0,37 a
	Rubí INTA	0,38 b	0,44 b	0,41 b	0,42 b	0,39 b	0,36 a
	Unión	0,48 a	0,52 a	0,54 a	0,51 a	0,58 a	0,50 a
311	Gostoso INTA	4,70 b	5,79 b	4,01 b	4,63 b	4,34 b	3,71 a
	Rubí INTA	4,88 b	7,13 ab	6,46 a	5,13 b	5,63 b	4,63 a
	Unión	7,54 a	8,50 a	7,01 a	7,05 a	7,61 a	5,32 a
cos	Gostoso INTA	11,57 b	14,44 b	14,37 b	9,64 b	10,04 c	7,46 b
	Rubí INTA	15,55 ab	22,72 a	19,88 a	12,31 b	13,76 b	10,53 a
	Unión	16,41 a	16,26 b	14,76 b	15,57 a	18,00 a	12,17 a

Referencias: Los ambientes están constituidos de la siguiente forma: A1 con 28 plantas·m⁻² y N0; A2 con 28 plantas·m⁻² y N100; A3 con 28 plantas·m⁻² y N70/30; A4 con 56 plantas·m⁻² y N100; A5 con 56 plantas·m⁻² y N70/30; A6 con 56 plantas·m⁻² y N0. Los días de cosecha (cos) fueron 332 (Unión), 334 (Gostoso INTA) y 346 (Rubí INTA). Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05) entre clones para un mismo ambiente, según prueba de LSD de Fisher (alfa=0,05).

Hacia el día 249, fecha apenas posterior al momento esperado en el que habría ocurrido el inicio de las yemas laterales en las plantas (y que constituye el primer paso en el inicio de la bulbificación), la ganancia en peso seco de bulbo fue de entre 2% y 4% del peso final de los mismos, valores que se asemejan a lo observado por Gaviola de Heras *et al.*, (1991) durante el crecimiento inicial del protobulbo de ajos blancos y colorados. Las diferencias en las respuestas de los distintos clones aquí obtenidas, son consecuencia de las diferencias que estos grupos presentan tanto en requerimientos térmicos (temperaturas mínimas), como también del largo del día necesario para pasar a la siguiente Etapa.

En la Etapa II (entre día 249 y día 311), se observó que la cultivar Unión logró en general mayor peso seco de bulbo (Figura 2.4) y presentó mayores tasas de crecimiento (Tabla 2.15) en todos los ambientes, pero con diferencias más marcadas en los caracterizados por una alta densidad de plantación (56 plantas·m⁻²) y agregado de nitrógeno, (también ocurrió esto en el A1). En tanto, en los ambientes A2 y A3 (28 plantas·m⁻²), Unión y Rubí INTA no tuvieron una respuesta significativamente diferente para ambas variables.

La Etapa III (representada entre el día 311 y la cosecha), como se mencionó previamente, es la etapa de “rápido crecimiento del bulbo” y el lapso es diferente dependiendo de la precocidad de cosecha de los materiales utilizados, habiendo sido aquí de 32, 34 y 46 días para Unión, Gostoso INTA y Rubí INTA respectivamente. En este periodo se observaron diferencias importantes entre las cultivares probadas, como respuesta al ambiente en el que se las cultivó (Figura 2.4

y Tabla 2.14). Por un lado, en ambientes con 56 plantas·m⁻², fue Unión el que mayor peso seco de bulbo acumuló, mientras que Rubí ocupó la primera posición en las parcelas fertilizadas y con 28 plantas·m⁻². Por su parte en los ambientes no fertilizados (A1 y A6), nuevamente Unión fue el que presentó los mayores valores. En todos los casos, Gostoso INTA mostró el peor desempeño.

Se destaca además, que la cultivar de ajo blanco presentó tasas de crecimiento significativamente superiores a las de los colorados (Tabla 2.15) cuando se los cultivó en alta densidad, mientras que en las parcelas de baja densidad, ambos grupos ecofisiológicos no mostraron grandes diferencias para esta variable dentro de cada ambiente. Aquí podemos verificar algunas semejanzas con los resultados de Gaviola de Heras *et al.*, (1991) y Lipinski *et al.*, (1997) considerando que los ambiente de cultivo que utilizaron fueron diferentes.

Otro aspecto interesante para destacar de la Tabla 2.15, es la menor variación en las tasas de crecimiento del peso seco de bulbo presentadas por la cultivar del GE IIIb en todos los ambientes, en tanto que las del GE IVb presentaron un ritmo de llenado de bulbos, relativamente superior en ambientes con baja densidad plantas, respecto a los cultivados con mayor *stand* de individuos.

Tabla 2.15. Tasa de crecimiento absoluta del peso seco del bulbo por planta (g·día⁻¹), por clon y ambiente.

Ambiente		A1	A2	A3	A4	A5	A6
Aplicación de N		0	100	70/30	100	70/30	0
Densidad (plantas/m ²)		28	28	28	56	56	56
Etapa II	Gostoso INTA	0,07 b	0,09 b	0,06 b	0,07 b	0,06 b	0,05 a
	Rubí INTA	0,07 b	0,11 ab	0,10 a	0,08 b	0,08 b	0,07 a
	Unión	0,11 a	0,13 a	0,10 a	0,11 a	0,11 a	0,08 a
Etapa III	Gostoso INTA	0,30 a	0,38 a	0,45 a	0,22 b	0,25 b	0,16 b
	Rubí INTA	0,31 a	0,45 a	0,38 a	0,21 b	0,23 b	0,17 b
	Unión	0,42 a	0,37 a	0,37 a	0,41 a	0,49 a	0,33 a

Referencias: Etapa II, desde el día 249 al 311; Etapa III, desde el día 311 a cosecha. Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05) entre clones para un mismo ambiente, según prueba de LSD de Fisher (alfa=0,05). Los ambientes están constituidos de la siguiente forma: A1, con 28 plantas·m⁻² y N0; A2, con 28 plantas·m⁻² y N100; A3, con 28 plantas·m⁻² y N70/30; A4, con 56 plantas·m⁻² y N100; A5, con 56 plantas·m⁻² y N70/30; A6, con 56 plantas·m⁻² y N0.

Los resultados obtenidos refuerzan la idea de que el patrón de llenado del bulbo es una característica distintiva de los distintos grupos ecofisiológicos, debido a sus requerimientos de frío y largo del día que necesitan para bulbificar, como también a la longitud del periodo de dormición (Portela y Lucero, 1997). Además, se sabe que existe un aspecto importante respecto a la partición de fotoasimilados durante esta

etapa, priorizándose el bulbo o el tallo floral, dependiendo de la capacidad que presentan o no, los distintos grupos ecofisiológicos de emitirlo (Portela, 1996). Así también, que existe una modificación de la proporción en la que se acumula la materia seca en los destinos mencionados, es función de la disponibilidad de nitrógeno para el cultivo (Gaviola de Heras *et al.*, 1997).

De lo anterior resulta importante mencionar que la respuesta de los clones puede diferenciarse en mayor o menor medida, dependiendo del ambiente de cultivo, presentando las cultivares una estabilidad diferencial en la expresión del peso seco de bulbo a cosecha, siendo aquí más estable Unión que Rubí INTA y Gostoso INTA, en los casos en los que los recursos son menores, ya sea en ambientes de mayor densidad como en aquellos no fertilizados.

Al analizar la tasa de asimilación neta del bulbo (Tabla 2.16), que es un estimador de la eficiencia fisiológica para producir materia seca por unidad de área foliar, o en otras palabras la eficiencia con la que se transporta materia seca desde las hojas al bulbo, se observa que Unión es significativamente más eficiente en el llenado del bulbo que Gostoso INTA y Rubí INTA en los ambientes de alta densidad. Coincidiendo con lo discutido previamente, parece ser que esta cultivar de ajo blanco mejora su respuesta cuando se la expone a altas densidades. Esto no quiere decir que la partición de materia seca al bulbo sea mayor, sino que lo realiza con mayor eficiencia por unidad de área foliar.

Gostoso INTA por su parte, presenta una leve tendencia superior que Rubí, diferenciándose significativamente en los ambientes A3 y A5 (caracterizados por el fraccionamiento de la fertilización). Dichos ambientes no son aquellos en los que obtiene mayor producción, pero parecería que las fertilizaciones durante el rápido crecimiento del bulbo logran mantener o mejorar su eficiencia fisiológica en esta última etapa.

Tabla 2.16. Tasa de asimilación neta del bulbo ($\text{g}\cdot\text{dm}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$) por clon y ambiente.

Ambiente	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Aplicación de N	0	100	70/30	100	70/30	0
Densidad (plantas/m²)	28	28	28	56	56	56
Gostoso INTA	0,09 a	0,12 a	0,13 a	0,08 b	0,09 b	0,07 ab
Rubí INTA	0,08 a	0,11 a	0,09 b	0,06 b	0,06 c	0,06 b
Unión	0,11 a	0,09 a	0,10 b	0,12 a	0,14 a	0,15 a

Referencias: Los ambientes están constituidos de la siguiente forma: A1 con 28 plantas·m⁻² y N0; A2 con 28 plantas·m⁻² y N100; A3 con 28 plantas·m⁻² y N70/30; A4 con 56 plantas·m⁻² y N100; A5 con 56 plantas·m⁻² y N70/30; A6 con 56 plantas·m⁻² y N0. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre clones para un mismo ambiente, según prueba de LSD de Fisher ($\alpha=0,05$).

2.3.6. Evolución del tallo floral

Es importante señalar que las cultivares del GE IVb presentan la característica de particionar parte de la biomasa productiva hacia el escapo (tallos florales). La materia seca que Gostoso INTA y Rubí INTA envían hacia este destino fue variable dependiendo del ambiente en el que crecieron y se desarrollaron (Tabla 2.17).

La floración en el ajo, por sus requerimientos térmicos comienza un poco antes que el crecimiento de las yemas laterales (Portela, 2013a), y compite desde el inicio con la bulbificación en la redistribución de la biomasa total producida por las plantas de ajo colorado.

Tabla 2.17. Peso seco del tallo floral (g) al inicio y fin de la Etapa III, y tasa de crecimiento absoluta de esa biomasa seca por planta ($\text{g}\cdot\text{día}^{-1}$) durante este período (tcaesc 311-cos).

Día	Clon	A1	A2	A3	A4	A5	A6
311	Gostoso INTA	0,65 a	0,70 a	0,44 a	0,75 a	0,80 a	0,83 a
	Rubí INTA	0,48 a	0,67 a	0,58 a	0,94 a	0,89 a	0,88 a
cos	Gostoso INTA	3,34 b	2,68 b	2,94 b	3,01 b	3,85 b	3,56 b
	Rubí INTA	7,55 a	6,25 a	6,01 a	8,11 a	9,22 a	8,27 a
tcaesc 311-cos	Gostoso INTA	0,12 b	0,09 a	0,11 a	0,10 b	0,13 b	0,12 b
	Rubí INTA	0,20 a	0,16 a	0,16 a	0,21 a	0,24 a	0,21 a

Referencias: Los ambientes están constituidos de la siguiente forma: A1 con 28 plantas·m⁻² y N0; A2 con 28 plantas·m⁻² y N100; A3 con 28 plantas·m⁻² y N70/30; A4 con 56 plantas·m⁻² y N100; A5 con 56 plantas·m⁻² y N70/30; A6 con 56 plantas·m⁻² y N0. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre clones para un mismo ambiente, según prueba de LSD de Fisher ($\alpha=0,05$).

En la Tabla 2.17, se observa que la cultivar Rubí INTA es la que mayor peso seco de escapo acumuló respecto de Gostoso INTA, en todos los ambientes hacia la cosecha. Por su parte, también vemos que existe una tendencia a mayor velocidad en la redistribución de biomasa al escapo.

Además, en densidades de 56 plantas·m⁻² Rubí INTA presentó una tasa de crecimiento mayor que en ambientes con 28 plantas·m⁻², mientras que Gostoso INTA logró valores similares en todos los ambientes.

A fin de complementar estas respuestas, en la Figura 2.5, la relación entre el peso seco del escapo y el peso seco del bulbo fue diferente entre las cultivares del GE IVb, arrojando siempre valores más elevados el clon Rubí INTA, pero achicándose estas diferencias en los ambientes de baja densidad de plantación. Entonces podría decirse que ambientes más competitivos para el cultivo de ajos colorados, ocasionan un mayor desarrollo del escapo floral que en ambientes menos densos, enfatizando además las diferencias entre los clones aquí probados.

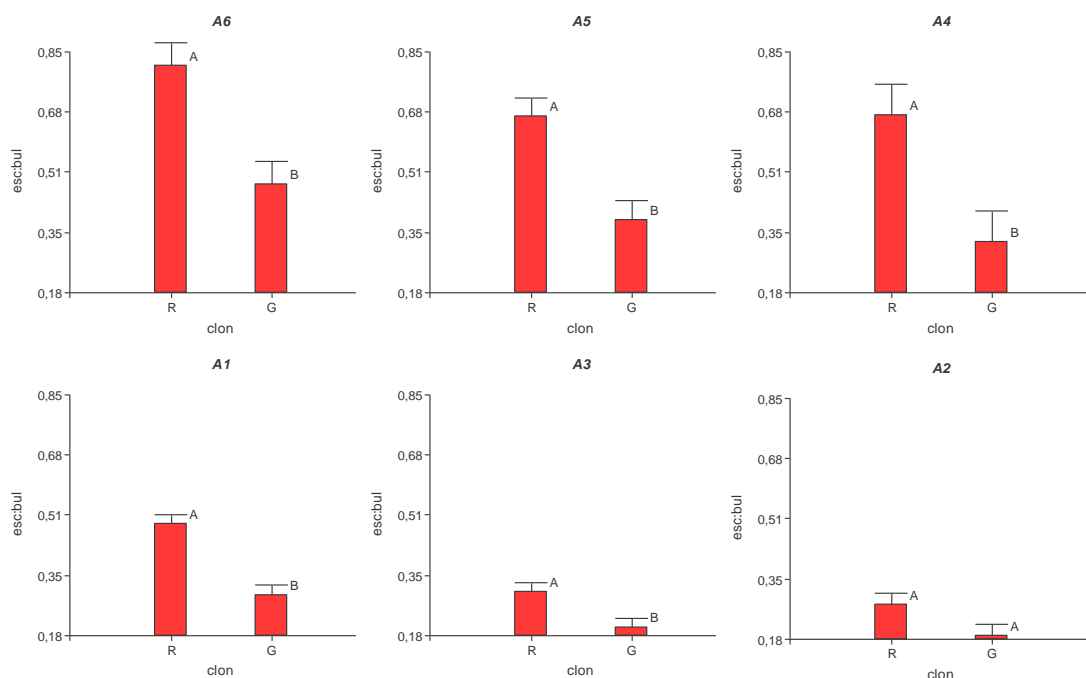


Figura 2.5. Relación entre el peso seco del escapo y el peso seco de bulbo (esc:bul) para dos cultivares de ajo colorado (R, Rubí INTA; G, Gostoso INTA). Referencias. Los ambientes están constituidos de la siguiente forma: A1, con 28 plantas·m⁻² y N0; A2, con 28 plantas·m⁻² y N100; A3, con 28 plantas·m⁻² y N70/30; A4, con 56 plantas·m⁻² y N100; A5, con 56 plantas·m⁻² y N70/30; A6, con 56 plantas·m⁻² y N0.

Por otro lado, se determinó que dependiendo del ambiente de cultivo ensayado, el clon Gostoso INTA destina hacia el tallo floral entre 19 y 26% de la materia seca total al momento cosecha (Tabla 2.18), mientras que Rubí INTA lo hace en mayor proporción relativa de biomasa alcanzando valores de entre 33% y 37%. Aquí tomaría un papel importante a la hora de decidir la remoción del escapo cuando se los cultiva en ambientes en donde exista una mayor competencia por el espacio.

Por lo anterior, hacia la cosecha se observó un efecto marcado de la densidad de plantación y no así del momento de provisión de nitrógeno. Ambas cultivares presentaron mayor proporción de materia seca en el escapo y mayor relación escapo/bulbo en los ambientes de alta densidad. Por su parte Rubí INTA mostró los valores más altos en todos los ambientes. La respuesta de este último podría deberse a una predisposición genética particular, a las diferencias en la biomasa del propágalo, como también a que es un material menos precoz, teniendo en la práctica más tiempo para particionar biomasa tanto al bulbo como al escapo (dado que el inicio de la bulbificación entre estos dos clones habría ocurrido al mismo tiempo).

Cabe mencionar, que los ajos del GE IVb, mantienen activo el follaje por más tiempo, lo que les permitiría compensar en parte la materia seca derivada al tallo

floral, logrando un peso seco de bulbo muy cercano al de los blancos como mencionan *Stahlschmidt et al.*,(1997).

Por los resultados obtenidos y tomando el concepto de que la floración y bulbificación son procesos que ocurren de manera simultánea (Portela, 2013a), y que los destinos considerados (tallo floral y bulbo) compiten entre sí por los fotoasimilados producidos en las hojas, no sería tan conveniente realizar la extracción del botón floral en la cultivar Gostoso INTA, ya que su momento óptimo para la cosecha, se encuentra muy cercano a la emergencia de la inflorescencia, por lo que sería escaso el efecto de disminuir la competencia.

2.3.7. Partición general de materia seca a cosecha

De modo integrador se presentan en la Tabla 2.18 los porcentajes de peso seco de distintas partes de la planta respecto al peso seco total al momento de cosecha.

Tabla 2.18. Valores porcentuales de materia seca en distintas secciones del vástago de la planta para cada cultivar y ambientes de cultivo probados.

Ambiente	Clon	particionhoj	particionvai	particionbul	particionesc
A1	Gostoso INTA	13	11	58	17
	Rubí INTA	11	8	54	26
	Unión	15	12	73	0
A2	Gostoso INTA	12	8	67	12
	Rubí INTA	10	7	66	18
	Unión	14	13	73	0
A3	Gostoso INTA	16	10	62	13
	Rubí INTA	10	7	63	19
	Unión	17	12	71	-
A4	Gostoso INTA	11	9	60	19
	Rubí INTA	9	7	50	33
	Unión	14	14	71	0
A5	Gostoso INTA	10	8	59	22
	Rubí INTA	10	8	49	33
	Unión	14	12	74	-
A6	Gostoso INTA	10	9	55	26
	Rubí INTA	8	8	47	37
	Unión	14	14	71	0

Referencias. Los ambientes están constituidos de la siguiente forma: A1, con 28 plantas·m⁻² y N0; A2, con 28 plantas·m⁻² y N100; A3, con 28 plantas·m⁻² y N70/30; A4, con 56 plantas·m⁻² y N100; A5, con 56 plantas·m⁻² y N70/30; A6, con 56 plantas·m⁻² y N0. Variables consignadas: % de materia seca en las hojas (particionhoj), % de materia seca en la vaina (particionvai), % de materia seca en el bulbo (particionbul) y % de materia seca en el escape (particionesc).

Se observa para Unión, que en todos los ambientes el peso seco del bulbo representa entre 71% y 74% del peso seco total de la planta, valores que son

superiores a los mostrados por las cultivares de ajo colorados. Cabe destacar que esta cultivar no presentar escapeo (tallo floral), por lo que el resto del peso corresponde al área fotosintetizante.

Contrariamente, la participación del peso seco del bulbo en el peso seco total de la planta entre los clones del GE IVb fue variable dependiendo del ambiente en el que se desarrollaron. En este sentido, al comparar los representantes del GE IVb, Rubí INTA particionó en todos los ambientes mayor porcentaje del peso seco total en el escapeo floral en contraste con Gostoso INTA, pero como se mostró anteriormente, también es el que logró a cosecha valores superiores en peso seco total (Tabla 2.9), peso seco de hojas (Tabla 2.12) y área foliar por planta (Tabla 2.11), al finalizar la Etapa II. Además, como se cosecha con posterioridad, manteniendo por más tiempo activas las hojas, compensaría en parte la materia seca derivada al escapeo. Esta es una posible explicación al mayor rendimiento total que Rubí INTA logra en todos los ambientes.

2.3.8. Consideraciones sobre el crecimiento secundario

Hacia fines de noviembre (día 325) se relevó la incidencia y severidad de plantas “rebrotadas” (crecimiento secundario). Este proceso fisiológico, que genera importantes pérdidas de calidad en los ajos (Portela, 2013 a), está regulado por las condiciones ambientales imperantes durante la Etapa II, y todas las variedades de ajo son capaces de presentarlo, aunque con diferente susceptibilidad.

En la Tabla 2.19, se presentan dos expresiones del “rebrote”: su incidencia (porcentaje de plantas rebrotadas) y su severidad (número de nudos por planta con rebrote).

Tabla 2.19. Porcentaje de plantas con crecimiento secundario (incidencia) y su severidad (número de nudos rebrotados), para las cultivares y ambientes probados.

Ambiente	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Aplicación de N	0	100	70/30	100	70/30	0
Densidad (plantas/m ²)	28	28	28	56	56	56
Incidencia rebrote (%)						
Gostoso INTA	1	5	0	0	1	0
Rubí INTA	1	7	2	0	0	0
Unión	4	61	19	3	0	2
Severidad rebrote						
Gostoso INTA	0,3	1,0	0,0	0,0	0,3	0,0
Rubí INTA	0,3	0,7	0,7	0,0	0,0	0,0
Unión	1,2	1,3	1,2	1,0	0,0	0,3

Se destaca en este ensayo multiambiental, que la cultivar Unión fue la que mayor porcentaje de plantas con crecimiento secundario presentó al cultivarla en poblaciones de 28 plantas·m⁻², mientras que en ambientes con mayor densidad (56 plantas·m⁻²), el número de plantas rebrotadas fue muy bajo. Por otro lado, la severidad con la que se vio afectada esta cultivar, no superó los 1,3 nudos por planta en ningún ambiente, pero con tendencia a lograr valores inferiores en los de alta densidad. Así mismo, las cultivares del GE IVb, mostraron en general la misma dirección en sus respuestas al aumentar la densidad de plantación, pero con valores muy por debajo a los del ajo blanco.

Además, en los ambientes fertilizados en los que se particionó la dosis de nitrógeno (A3 y A5), la incidencia del rebrote resultó inferior que en aquellos en donde no se agregó nitrógeno durante la etapa de rápido crecimiento del bulbo (A2 y A4), excepto Gostoso INTA en A5, quien registró solo 1% de plantas rebrotadas. Las diferencias en las respuestas, fundamentalmente se incrementan en los ambientes de alta densidad.

Por su parte, en ambientes no fertilizados (A1 y A6), todos los clones probados presentaron una baja incidencia del rebrote, minimizándose con el incremento del número de plantas.

En este sentido Portela (1998, 2013a) y Reghin (2004) mencionan que tanto la densidad del cultivo como la disponibilidad de nitrógeno y de agua (también sus fluctuaciones temporales) afectarían la severidad con la que se manifiesta el crecimiento secundario. Dicha situación se verificó en el presente trabajo, dado que la mayor disponibilidad de recursos y la consecuente baja competencia por ellos, promovió el crecimiento de brotes laterales.

2.3.9. Eficiencia de uso del nitrógeno

La eficiencia agronómica en el uso del nitrógeno (EUN) constituye variable importante a considerar para optimizar el aprovechamiento de este nutriente según los requerimientos del cultivo en el tiempo y el espacio (Lipinski *et al.*, 2006b).

El análisis estadístico de la EUN (g bulbo cosechado por g de N aplicado), realizado entre cultivares para cada uno de los ambientes probados, arrojó para el primer muestreo (día 249) diferencias significativas entre Unión y los otros dos clones, en todos los ambientes de fertilización probados (Tabla 2.20). Entre los ajos colorados no se observaron diferencias estadísticas.

Hacia el segundo muestreo (día 311), Unión continuó siendo significativamente más eficiente que los ajos colorados en los ambientes de alta densidad, pero no llegó a diferenciarse de Rubí INTA en los ambientes de baja densidad de plantación. En general Gostoso INTA mostró en todos los casos la peor respuesta.

Por último, del análisis realizado sobre los datos del tercer muestreo (cosecha), Unión confirmó su mayor eficiencia en alta densidad de plantación, mientras que Rubí INTA lo hizo en ambientes de baja densidad.

Los datos aquí consignados confirman la idea (Lipinski *et al.*, 2006b) de que existen diferencias entre las cultivares de ajo probadas para producir materia seca en el bulbo por unidad de nitrógeno aplicado tanto hacia la cosecha como durante el ciclo de cultivo, cualidad relacionada con la eficiencia fisiológica específica que éstas presentan. Sin embargo, dichas respuestas podrían verse modificadas con prácticas de manejo del cultivo que condicionen la disponibilidad del nutriente en el suelo.

Tabla 2.20. Eficiencia agronómica del uso de nitrógeno (g de peso seco del bulbo cosechado por g de nitrógeno aportado), en tres observaciones, para cada cultivar y ambiente de fertilización.

Ambiente		A2	A3	A4	A5
Aplicación de N		100	70/30	100	70/30
Densidad (plantas/m ²)		28	28	56	56
249	Gostoso INTA	1,02 b	1,41 b	1,82 b	2,93 b
	Rubí INTA	1,20 b	1,58 b	2,29 b	3,01 b
	Unión	1,43 a	2,09 a	2,81 a	4,53 a
311	Gostoso INTA	8,84 b	7,11 b	14,13 b	15,40 b
	Rubí INTA	10,89 ab	11,47 a	15,66 b	19,97 b
	Unión	12,99 a	12,44 a	21,54 a	26,99 a
cos	Gostoso INTA	22,06 b	21,95 b	29,46 b	30,68 c
	Rubí INTA	34,71 a	30,38 a	37,62 b	42,06 b
	Unión	24,84 b	22,55 b	47,58 a	54,99 a

Referencias: Los ambientes están constituidos de la siguiente forma: A1 con 28 plantas·m⁻² y N0; A2 con 28 plantas·m⁻² y N100; A3 con 28 plantas·m⁻² y N70/30; A4 con 56 plantas·m⁻² y N100; A5 con 56 plantas·m⁻² y N70/30; A6 con 56 plantas·m⁻² y N0. Primer muestreo (día 249), segundo muestreo (día 311), tercer muestreo (cos). Los días de cosecha (cos) fueron 332 (Unión), 334 (Gostoso INTA) y 346 (Rubí INTA). Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05) entre clones para un mismo ambiente, según prueba de LSD de Fisher (alfa=0,05).

Complementariamente, se analizaron las variables “rendimiento total” y “rendimiento exportable” versus el aporte de nitrógeno obteniéndose para la primera, las mismas tendencias que para el peso seco de bulbo (Figura 2.6, derecha), pero para el rendimiento exportable las diferencias se magnificaron para la cultivar Unión en altas densidades de plantación (Figura 2.6, izquierda).

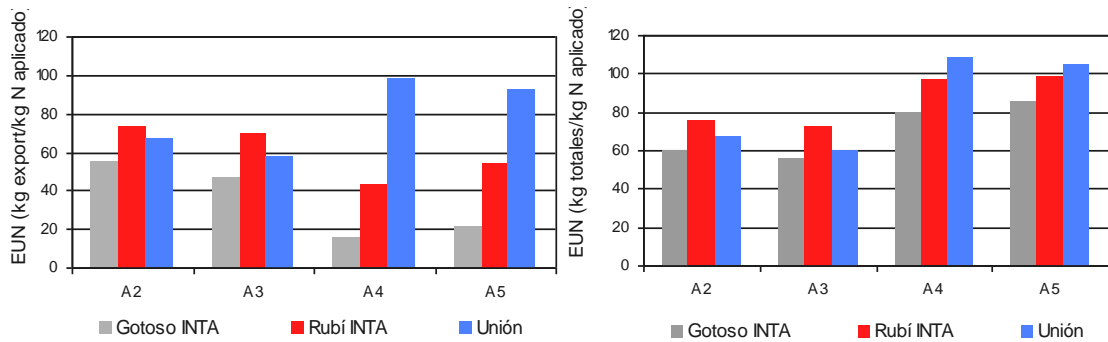


Figura 2.6. Eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN) relativo a rendimiento exportable (izquierda) y rendimiento total (derecha) de tres cultivares de ajo en cuatro ambientes de cultivo. Referencias: Los ambientes están constituidos de la siguiente forma: A1, con 28 plantas·m⁻² y N0; A2, con 28 plantas·m⁻² y N100; A3, con 28 plantas·m⁻² y N70/30; A4, con 56 plantas·m⁻² y N100; A5, con 56 plantas·m⁻² y N70/30; A6, con 56 plantas·m⁻² y N0.

Los valores aquí obtenidos reafirman los conseguidos por los autores antes mencionados, arribando a la conclusión de que la EUN dependieron tanto de las prácticas de manejo de cultivo, como de la eficiencia fisiológica de las cultivares. Estos resultados nos permitirían mejorar el aprovechamiento de los recursos ofrecidos por el ambiente y gestionados por el productor, con el fin de optimizar el rendimiento, minimizando el impacto negativo ocasionado sobre el ambiente.

2.4. CONCLUSIONES

Este estudio mostró la existencia de importantes diferencias en la respuesta entre cultivares de distinta precocidad de cosecha pero similar requerimiento fotoperiódico para bulbificar, respecto a la combinación de densidades de plantación y modalidades de provisión de nitrógeno. Estas diferencias no sólo se observan en las variables respuesta sino también en la evolución de variables de crecimiento y en la eficiencia con la que se utilizó el nitrógeno agregado al ambiente.

La cultivar Unión (GE IIIb) mostró mejor desempeño relativo en los ambientes de alta densidad, logrando en estos, un mayor rendimiento total e individual respecto de los clones de GE IVb.

Rubí INTA mostró mejor desempeño relativo en los ambientes de baja densidad, superando en ellos, al resto de las cultivares probadas, tanto en rendimiento total como individual.

Gotoso INTA fue la cultivar con peor desempeño relativo en todos los ambientes, respondiendo mejor a los ambientes de baja densidad.

Por lo anterior se determinó en este ensayo multiambiental, que el clon blanco tardío tiene mejor ajuste al planteo de alta productividad por unidad de superficie. Contrariamente, Rubí INTA es más susceptible, en términos de rendimiento, al esquema de mayor densidad de plantas.

Asimismo se determinó que la modalidad de provisión de nitrógeno no generó respuestas diferenciales, presumiblemente por interacciones con otras variables ambientales, tales como la dinámica de microorganismos edáficos.

CAPÍTULO III

INTERPRETACIÓN DE LA RESPUESTA INTEGRAL DE CLONES DE AJO ENTRE AMBIENTES, A PARTIR DEL EMPLEO DE COVARIABLES

3.1 INTRODUCCIÓN

El ciclo de vida de los vegetales ocurre en estrecha relación con el ambiente y los recursos que este dispone para su crecimiento y desarrollo (Portela, 2013a).

La incorporación de tecnología de riego presurizado permite modificar el ambiente de cultivo, no sólo mejorando la eficiencia del uso del agua sino también la del uso del espacio disponible, al independizarse de la necesidad de regueras y surcos para conducir el agua hasta las plantas, y la de la provisión de fertilizantes químicos, al permitir que la dosificación esté más de acuerdo con los requerimientos temporales de las mismas.

En el cultivo de ajo en la Región de Cuyo (provincias de Mendoza y San Juan, Argentina), la mejora en la eficiencia de uso del espacio por la incorporación del riego presurizado implica un aumento en la población de plantas por unidad de superficie, lo que genera la necesidad de ajustar los programas de nutrición del cultivo, fundamentalmente en relación al nitrógeno, a fin de alcanzar una mayor cantidad de bulbos de tamaño comercial por unidad de superficie.

Se encuentra ampliamente documentado el efecto positivo que el nitrógeno tiene sobre la acumulación de biomasa y rendimiento comercial del ajo (Saluzzo, 2003; Resende *et al.*, 2000; Gaviola *et al.*, 1991; Escaff y Aljaro, 1982), como así también la disminución de tamaños comerciales, consecuencia del incremento de plantas por unidad de superficie (Reghin *et al.*, 2004; Castellanos *et al.*, 2004; Lipinski y Gaviola 2003; Arboleya *et al.*, 1997).

Con el fin de mejorar la comprensión de la naturaleza de las interacciones entre cultivares de ajo y combinaciones de densidad de plantación y de modalidades de provisión de nitrógeno, desde un enfoque integrador que permita interpretar la complejidad de la realidad y su dinámica, se plantea como objetivo para este Capítulo el análisis conjunto de las respuestas observadas y discutidas en el Capítulo anterior para cada ambiente probado, buscando explicarlas en función de covariables fisiológicas.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Para dar cumplimiento a los objetivos de este Capítulo, los datos obtenidos con los materiales y métodos descritos en el Capítulo II se analizan aquí mediante la técnica de análisis de componentes principales (ACP). Esta técnica combina linealmente distintas variables a fin de encontrar índices denominados componentes principales (CP) con máxima varianza (Balzarini *et al.*, 2008). Los resultados se presentan en forma de Biplots, que en este trabajo son generados con el software InfoStat (versión 2012e). En estos Biplots, el plano que forman como ejes las dos primeras componentes principales (CP1 y CP2) es el que explica el mayor porcentaje de variabilidad total (Balzarini *et al.*, 2008). Para el análisis se partió de los datos de las variables respuesta, de “semilla” y de cultivo que se listan en la Tabla 3.1.

Luego, se realizó el análisis de regresión por mínimos cuadrados parciales (MCP), que generaliza y combina el ACP y el análisis de regresión lineal. Los datos empleados para ello fueron una matriz de residuos obtenida de un análisis de interacción por el modelo GREG (regresión por genotipo) y una matriz conformada con las covariables de cultivo, de semilla y ambientales. Los modelos GREG son modelos lineales-bilineales que remueven el efecto de genotipo y expresan la respuesta en función del ambiente y de la interacción genotipo (clon)-ambiente (Balzarini *et al.*, 2005). Los resultados del MCP se presentan en forma de Triplots generados con el mismo software InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2008). En la práctica, este tipo de análisis permite descubrir y reportar la naturaleza de las relaciones de variables predictoras con variables respuesta, a partir de la participación de covariables (Balzarini *et al.*, 2008).

Además de las variables presentadas y descriptas en el Capítulo II, se suman aquí otras con el objetivo de enriquecer el análisis y la discusión. Se consideró la variable ‘Spad 298’, que representa el índice relativo de clorofila (IRC) hacia el día 298, a partir de la medición realizada en la cuarta hoja (contando desde la más nueva) de 10 plantas por parcela, con un medidor SPAD-502 marca Minolta, el cual permite estimar la cantidad relativa de clorofila presente en la hoja mediante la medición de la absorción de luz en dos regiones de longitud de onda (roja y cercana a infrarroja). Utilizando estas dos transmisiones, el medidor calcula el valor numérico SPAD, el cual está correlacionado en forma positiva con la cantidad de clorofila y con la concentración de nitrógeno presente en la hoja (Villas Bôas *et al.* 2003).

Se generó asimismo la variable 'filocrono 298', calculada a partir del número de hojas verdes y el tiempo térmico (°C-día) entre los días 192 y 298. Para el cálculo del tiempo térmico se obtuvieron sumas térmicas a partir de registros de temperaturas máximas y mínimas diarias, tomados en abrigo meteorológico y a menos de 200 m de los ensayos durante todo el período de cultivo. Las sumas térmicas se realizaron considerando temperatura base de 0 °C (Portela, 2004), desde plantación hasta cosecha, según la ecuación:

$$ST = \sum (t \text{ media})$$

Por otro lado, en base a las dosis de fertilizante aplicado se estimó la cantidad de nitrógeno agregado por planta ('N disp') y, a fin de poder incorporar en el análisis a los ambientes en los que no se realizaron aportes del nutriente (A1 y A6), se calculó la cantidad de nitrógeno mineral del suelo ('Nmin') al inicio del cultivo en la rizósfera mediante la siguiente ecuación (González, 1999):

$$N_{min} = N \text{ total} \times \text{Peso capa de exploración radicular} \times \text{tasa de mineralización} / 100$$

Para dicha ecuación se consideró un valor de nitrógeno total promedio de 600 ppm (ver Tabla 2.3, Capítulo II), un peso de la capa de exploración radicular de 4.200.000 kg para una superficie de una hectárea y una tasa de mineralización del 4%, dichos valores fueron considerados por las características físicas y químicas del suelo utilizado en el ensayo (González, 1999). Luego, la cantidad inferida de nitrógeno por medio de la ecuación, fue adicionada a la aportada por medio de fertigación en el resto de los ambientes estudiados.

Por último, se determinó el área foliar específica hacia el día 311 ('afe311'), la que fue definida como la razón entre el área foliar y el peso seco de la hoja (Hunt, 1990).

Tabla 3.1. Clave de identificación de variables respuesta, variables de “semilla” y variables del cultivo utilizadas en el análisis multivariado.

Variables respuesta (rendimiento)

cmed	diámetro ecuatorial medio de bulbo (cm)
pmed	peso medio de bulbo (g)
rendtot	rendimiento total (kg)
prbex	proporción de bulbos exportables

Variables de “semilla”

cmedma	diámetro ecuatorial medio del bulbo madre (cm)
pmedma	peso medio del bulbo madre (g)
ivd	índice visual de dormición (proporción)
psmedma	peso medio de bulbillos por bulbo madre (g)
coefconv	coeficiente de conversión (relación bulbo:bulbillo)

Variables de cultivo

dd80cos	número de días desde 80% de emergencia hasta cosecha
incireb	incidencia media de rebrotes por parcela (proporción)
alt249	altura media de plantas hacia el día 249 (cm)
alt311	altura media de plantas hacia el día 311 (cm)
tasalt249-311	tasa de incremento de altura entre días 249 y 311
nhojtot249	número de hojas totales hacia el día 249
nhojtot311	número de hojas totales hacia el día 311
tasanhoj249-311	tasa de aparición de hojas totales entre días 249 y 311
nhojver298	número de hojas verdes hacia el día 298
tasahojverd80-221	tasa de aparición de hojas verdes entre día de 80% de emergencia y el día 221
areafol311	área foliar hacia el día 311
areafol249	área foliar hacia el día 249
afe311	área foliar efectiva hacia el día 311
iaf 249	índice de área foliar hacia el día 249
iaf 311	índice de área foliar hacia el día 311
tanbulb311-cos	tasa de asimilación neta de bulbo entre días 311 y cosecha
tcabulb311-cos	tasa de crecimiento absoluto de peso seco bulbo entre días 311 y cosecha
psbulcos	peso seco de bulbo a cosecha (g)
pshojcos	peso seco de hoja a cosecha (g)
pstotalcos	peso seco de planta a cosecha (g)
N disp	nitrógeno disponible por planta en el ciclo de cultivo (g)
EUN	eficiencia agronómica del uso de nitrógeno a cosecha (psebulcos/N disp)
Spad 298	índice relativo de clorofila (IRC) hacia el día 298 (Unidades Spad)
Filocrono298	tiempo térmico entre la aparición de dos hojas sucesivas, desde el día 192 y el día 298

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Tablas 3.2 a 3.6 se presenta como referencia los valores medios de las variables consideradas en este estudio, para cada clon y ambiente (combinación de densidades de plantación y modalidades de aporte de fertilizante nitrogenado) probados.

Tabla 3.2. Valores medios de las variables respuesta estudiadas, para cada combinación de clon y ambiente de cultivo.

Clon	Ambiente	pmed	cmed	rendtot	prbex
Gostoso INTA	A1	24,91	4,07	6,9	0,19
	A2	36,44	4,93	10,7	0,93
	A3	35,33	4,83	9,9	0,85
	A4	26,84	4,13	14,4	0,19
	A5	27,09	4,23	15,3	0,25
	A6	18,98	3,33	9,3	0,02
Rubí INTA	A1	44,72	4,7	10,4	0,69
	A2	47,26	5,27	13,6	0,97
	A3	47,58	5,13	13,1	0,96
	A4	32,4	4,47	17,5	0,44
	A5	31,01	4,47	17,7	0,53
	A6	20,98	3,4	10,0	0,01
Unión	A1	36,51	4,87	9,0	0,75
	A2	41,7	5,43	12,1	0,99
	A3	42,64	5,27	10,8	0,95
	A4	37,14	4,97	19,5	0,9
	A5	37,35	4,93	18,9	0,87
	A6	26,16	4,33	13,9	0,45

Referencias: el significado del nombre de cada variable figura en la Tabla 1.

Tabla 3.3. Valores medios de variables de "semilla" para cada combinación de clon y ambiente de cultivo.

Clon	Ambiente	cmedma	pmedma	ivd	psmedma	coefconv
Gostoso INTA	A1	5,0	34,8	0,4	3,7	6,7
	A2	5,0	34,8	0,4	3,7	9,8
	A3	5,0	34,8	0,4	3,7	9,5
	A4	5,0	34,8	0,4	3,7	7,2
	A5	5,0	34,8	0,4	3,7	7,3
	A6	5,0	34,8	0,4	3,7	5,1
Rubí INTA	A1	5,3	52,9	0,5	4,9	9,0
	A2	5,3	52,9	0,5	4,9	9,6
	A3	5,3	52,9	0,5	4,9	9,6
	A4	5,3	52,9	0,5	4,9	6,5
	A5	5,3	52,9	0,5	4,9	6,3
	A6	5,3	52,9	0,5	4,9	4,2
Unión	A1	5,5	50,8	0,6	5,1	7,2
	A2	5,5	50,8	0,6	5,1	8,3
	A3	5,5	50,8	0,6	5,1	8,5
	A4	5,5	50,8	0,6	5,1	7,4
	A5	5,5	50,8	0,6	5,1	7,4
	A6	5,5	50,8	0,6	5,1	5,2

Referencias: el significado del nombre de cada variable figura en la Tabla 1.

Tabla 3.4. Valores medios de variables registradas durante el cultivo, para cada combinación de clon y ambiente de cultivo. Primera parte.

Clon	Ambiente	dd80cos	incireb	alt249	alt311	tasalt249-311	nhojtot249	nhojtot311	tasanoj249-311
Gostoso INTA	A1	194	0,01	36,5	79,1	0,69	4,9	7,4	0,040
	A2	197	0,05	34,9	82,2	0,76	5,0	7,1	0,033
	A3	193	s/d	34,8	82,0	0,76	4,8	7,5	0,041
	A4	192	s/d	35,2	85,9	0,82	4,9	7,1	0,035
	A5	196	0,01	36,7	81,5	0,72	5,1	6,9	0,028
	A6	195	s/d	34,7	78,8	0,71	5,2	6,8	0,025
Rubí INTA	A1	208	0,01	37,3	88,7	0,83	5,2	8,2	0,048
	A2	209	0,07	38,4	87,5	0,79	5,4	8,1	0,043
	A3	205	0,02	37,4	87,8	0,81	5,5	8,5	0,048
	A4	209	s/d	40,2	92,2	0,84	5,7	8,3	0,041
	A5	210	s/d	39,8	93,8	0,87	5,3	8,6	0,052
	A6	211	s/d	38,5	87,5	0,79	5,3	7,8	0,041
Unión	A1	198	0,04	32,6	79,0	0,75	5,7	8,4	0,044
	A2	201	0,61	33,9	86,9	0,85	5,6	8,6	0,048
	A3	199	0,19	32,9	80,0	0,76	5,5	8,4	0,045
	A4	198	0,03	34,8	86,0	0,83	5,6	8,4	0,044
	A5	203	s/d	37,5	88,5	0,82	5,9	8,6	0,043
	A6	203	0,02	35,3	77,7	0,68	5,3	8,5	0,051

Referencias: el significado del nombre de cada variable figura en la Tabla 1, mientras que 's/d' significa sin dato.

Tabla 3.5. Valores medios de variables registradas durante el cultivo, para cada combinación de clon y ambiente de cultivo. Segunda parte.

Clon	Ambiente	nhojver298	tasahojverd80-221	areafol249	areafol311	afe311	iaf249	iaf311	Spad298
Gostoso INTA	A1	7,75	0,041	80	415	118	0,22	1,14	62,0
	A2	8,25	0,043	88	453	109	0,24	1,25	67,3
	A3	8,5	0,043	80	417	119	0,22	1,15	66,7
	A4	7,42	0,043	80	437	125	0,44	2,40	63,0
	A5	7,42	0,036	96	409	134	0,53	2,25	65,7
	A6	7,25	0,037	99	342	125	0,54	1,88	56,5
Rubí INTA	A1	8,42	0,044	116	560	109	0,32	1,54	63,1
	A2	9,25	0,048	127	650	99	0,35	1,79	71,5
	A3	8,92	0,046	150	628	99	0,41	1,73	65,9
	A4	8,83	0,043	128	570	119	0,70	3,13	64,6
	A5	8,67	0,042	122	618	113	0,67	3,40	63,2
	A6	8,25	0,044	105	490	124	0,58	2,69	56,3
Unión	A1	8,58	0,045	127	583	116	0,35	1,60	61,3
	A2	9,25	0,049	137	734	104	0,38	2,02	71,2
	A3	9,08	0,048	130	609	108	0,35	1,68	67,5
	A4	8,5	0,049	147	571	117	0,81	3,14	68,9
	A5	8,83	0,045	174	590	112	0,96	3,24	61,4
	A6	7,92	0,045	134	413	126	0,74	2,27	56,0

Referencias: el significado del nombre de cada variable figura en la Tabla 1.

Tabla 3.6. Valores medios de variables registradas durante el cultivo, para cada combinación de clon y ambiente de cultivo. Tercera parte.

Clon	Ambiente	tanbulb311-cos	tcabulb311-cos	psbulcos	pshojcos	pstotalcos	N disp	EUN	filocrono298
Gostoso INTA	A1	0,094	0,299	11,57	2,64	19,71	0,36	32,13	247
	A2	0,117	0,376	14,44	2,68	21,52	1,01	14,23	229
	A3	0,133	0,45	14,37	3,65	23,23	1,01	14,17	222
	A4	0,08	0,218	9,64	1,85	15,91	0,51	19,00	264
	A5	0,091	0,248	10,04	1,79	17,09	0,51	19,77	254
	A6	0,072	0,163	7,46	1,42	13,63	0,18	41,43	271
Rubí INTA	A1	0,076	0,305	15,55	3,10	28,63	0,36	43,17	242
	A2	0,106	0,445	22,72	3,24	34,48	1,01	22,40	199
	A3	0,091	0,383	19,88	3,31	31,63	1,01	19,60	211
	A4	0,059	0,205	12,31	2,25	24,44	0,51	24,30	214
	A5	0,058	0,232	13,77	2,67	27,90	0,51	27,17	210
	A6	0,056	0,168	10,52	1,91	22,49	0,18	58,47	242
Unión	A1	0,109	0,422	16,41	3,37	22,49	0,36	45,57	227
	A2	0,087	0,369	16,26	3,17	22,22	1,01	16,03	199
	A3	0,1	0,369	14,76	3,45	20,58	1,01	14,53	214
	A4	0,117	0,406	15,57	3,16	21,80	0,51	30,67	231
	A5	0,136	0,495	18,00	3,42	24,34	0,51	35,47	211
	A6	0,145	0,326	12,17	2,45	17,12	0,18	67,60	247

Referencias: el significado del nombre de cada variable figura en la Tabla 1.

En tanto, en las Figuras 3.1 y 3.3, obtenidas a partir del análisis de componentes principales para las variables respuesta consideradas en este trabajo (Tabla 3.1) se presentan los Biplot de los dos primeros CP. Se puede observar que el porcentaje de variabilidad total explicado por los primeros dos componentes de cada gráfico explican alrededor del 68% de la variabilidad total, valor que se considera suficiente y razonable para explicar dicha variabilidad para un conjunto de casos (Balzarini *et al.*, 2005).

En ellos se logran representar respuestas diferenciales de las cultivares entre los ambientes probados, por efecto de la densidad de plantación y la cantidad de nitrógeno disponible y no tanto así por la modalidad de provisión de este nutriente, lo que apoya al diseño planteado para este ensayo multiambiental.

Concentrando la atención en las proyecciones de los casos en el CP1, la que explica la mayor parte de la variabilidad global, se logra representar una separación importante de los resultados para cada cultivar utilizada, mostrándose hacia la izquierda del punto central, las respuestas de Gostoso INTA y en oposición hacia la derecha las de Unión y Rubí INTA; excepto en los casos del ambiente cultivado en alta densidad y sin agregado de nitrógeno (A6), que también se dispusieron hacia la izquierda.

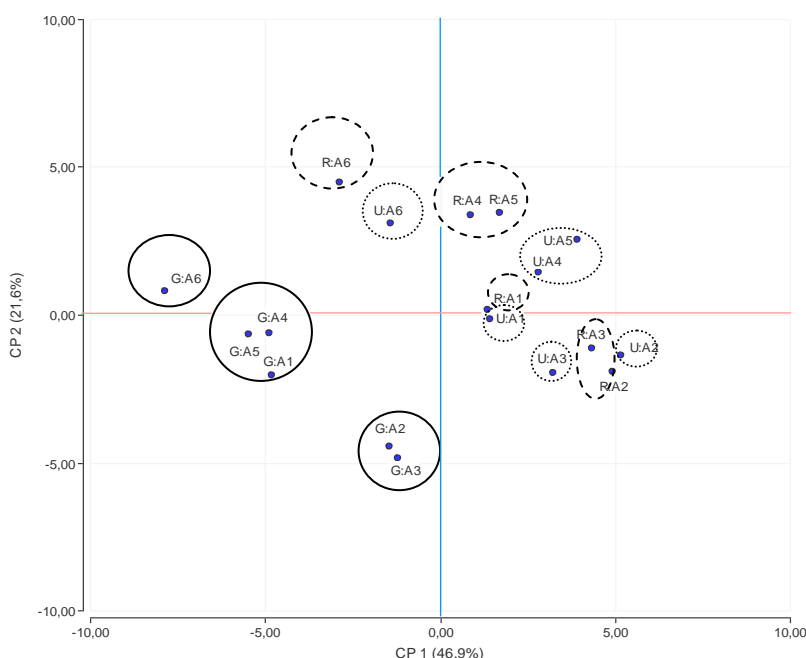


Figura 3.1. Biplot para las variables respuesta que representan el rendimiento (Tabla 1) según el plano conformado por las dos primeras componentes principales (CP) obtenidas del análisis (ACP). Se muestran sólo los casos estudiados, representados por la primera letra del nombre de cada cultivar (G:Gostoso INTA, R: Rubí INTA, U: Unión) y por la identificación del ambiente de cultivo (A1: 28 plantas·m⁻² y N0; A2: 28 plantas·m⁻² y N100; A3: 28 plantas·m⁻² y N70/30; A4: 56 plantas·m⁻² y N100; A5: 56 plantas·m⁻² y N70/30; A6: 56 plantas·m⁻² y N0).

En los ajos del GE IVb (Gostoso INTA y Rubí INTA), la densidad de plantación generó respuestas diferenciales más marcadas que entre modalidades de provisión de nitrógeno. Es decir, que para una misma densidad no se observó gran diferenciación entre las dos modalidades probadas, presentando además una gran similitud en la “inercia” (distancia del cero) de los casos, tanto hacia la derecha como hacia la izquierda.

Por su parte, las respuestas de la cultivar Unión (GE IIIb) frente a las modalidades de provisión de nitrógeno en baja densidad (A2 y A3) sí se diferenciaron, pero esto no ocurrió en alta densidad (A4 y A5). Puede verse también que la respuesta en A3 coincide con la de los ambientes de alta densidad en su proyección sobre el CP1, resultando semejantes entre sí.

Una primera idea que se puede extraer de estos resultados es que, en las condiciones probadas, el nitrógeno disponible hasta la etapa de rápido crecimiento vegetativo es el que realmente contó para generar las respuestas observadas. Ahora, el por qué no llegaron a distinguirse mucho entre sí las modalidades de aplicación es algo que requiere mayor discusión.

En la cultivar Unión en particular, las respuestas entre los ambientes fertilizados y con baja densidad (A2 y A3) lograron cierta diferenciación entre sí (Figura 3.1). Coincidentemente, en la Tabla 3.5 puede verse que la partición de la dosis de nitrógeno (A3) se asoció a una biomasa foliar ('areafol311') algo menor que en el otro ambiente fertilizado (A2), lo que explicaría esta diferencia, que por el corto tiempo hasta cosecha no habría podido ser compensada con la aplicación del resto de la dosis durante el rápido crecimiento del bulbo.

Otra posible explicación de esto podría estar en las interacciones por el nutriente que se estarían dando con los microorganismos edáficos. En este sentido, podría ocurrir que parte del nutriente aportado durante el crecimiento vegetativo inicial permanezca capturado en la biomasa del suelo (aspecto éste que no fue cuantificado en esta investigación), y por eso no existan diferencias marcadas entre modalidades de aplicación, aun cuando en una de ellas (la de A3 y A5) la cantidad aplicada fuese menor; el nutriente realmente disponible para la planta no habría sido tan distinto. En tanto, la aplicación del 30% de la dosis durante el rápido crecimiento del bulbo tampoco habría generado diferencias de respuesta porque, habiendo sido capturado por la biomasa microbiana, nunca llegó ese nutriente a hacerse disponible para el cultivo.

En líneas generales, la inmovilización del nitrógeno en el sistema edáfico podría tener lugar por la adsorción en los coloides o por la captura del mismo por parte de los microorganismos. Desde el punto de vista biológico, la captura del nutriente aplicado es lo contrario a la nitrificación y ocurre cuando el nitrógeno inorgánico se transforma a orgánico, debido a que numerosos microorganismos utilizan el nitrógeno mineral del suelo para la síntesis de sus propias macromoléculas, compitiendo directamente con las plantas cultivadas (Gros y Dominguez, 1992; Perez *et al.*, 2005). La actividad y crecimiento microbiano están condicionados por ciertos factores ambientales como la temperatura, humedad, y pH del suelo, y las condiciones templado cálidas durante la primavera favorecerían la inmovilización biológica (Frioni, 2006; Vasquez y Dávila, 2008). Los nutrientes quedan disponibles recién luego de la muerte de los microorganismos. Además esta disponibilidad podría estar complementada por la actividad de los microorganismos nitrificadores y fijadores de nitrógeno (microorganismos relacionados al ciclo del nitrógeno), e inducida por el incremento de las temperaturas primaverales (Abril *et al.*, 1990). Esto nos lleva a reflexionar y plantear nuevas líneas de investigación sobre la inmovilización de nitrógeno en el suelo por microorganismos bajo ciertas condiciones que podría optimizar la eficiencia de los fertilizantes.

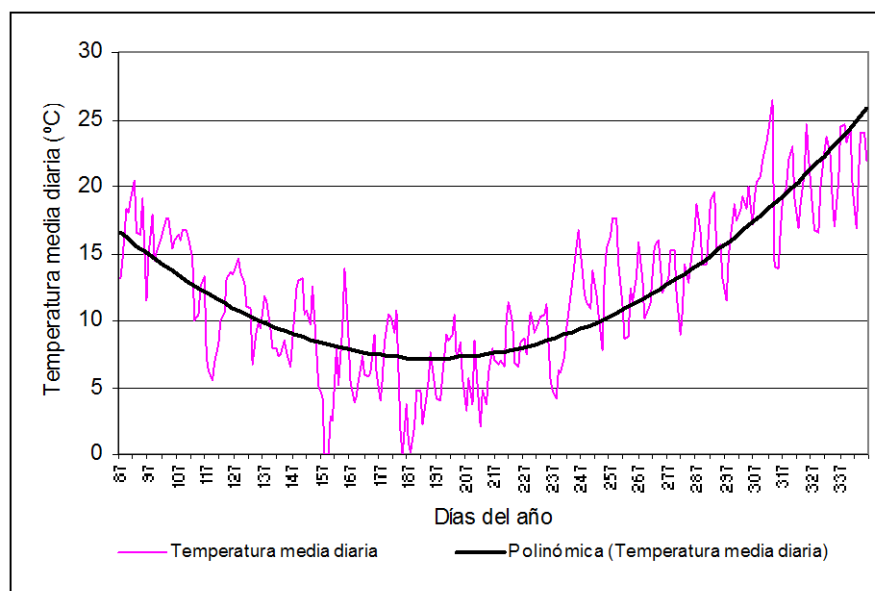


Figura 3.2. Evolución de la temperatura media diaria durante el ciclo de cultivo. Datos de 2012, Estación Agrometeorológica de la Estación Experimental Agropecuaria La Consulta. La línea más gruesa representa la línea de tendencia con ajuste polinómico de segundo grado. Días del año: el día 1 corresponde al 1 de enero.

Como se mencionó previamente, uno de los principales factores ambientales que afectan la dinámica microbiana es la temperatura. En la Figura 3.2 se muestra la evolución de la temperatura media diaria en el sitio del ensayo a lo largo del ciclo de cultivo. Considerando la curva de tendencia central, puede verse que la temperatura media diaria entre los días 157 (5 de junio) y 269 (25 de septiembre), período en el cual se aplicó el 100% de la dosis de fertilizante en los ambientes A2 y A4 y el 70% en los ambientes A3 y A5, varió entre los 8 °C y 12 °C. Mientras que, entre los días 304 (30 de octubre) y 312 (7 de noviembre), entre los cuales se agregó el 30% restante, las temperaturas medias diarias estuvieron entre 17 °C y 18 °C, lo que habría favorecido el desarrollo de los microorganismos antes mencionados, con la consecuente inmovilización del nitrógeno.

Siguiendo con el análisis de componentes principales, en la Figura 3.3 se incorporan las variables que se utilizaron para el análisis.

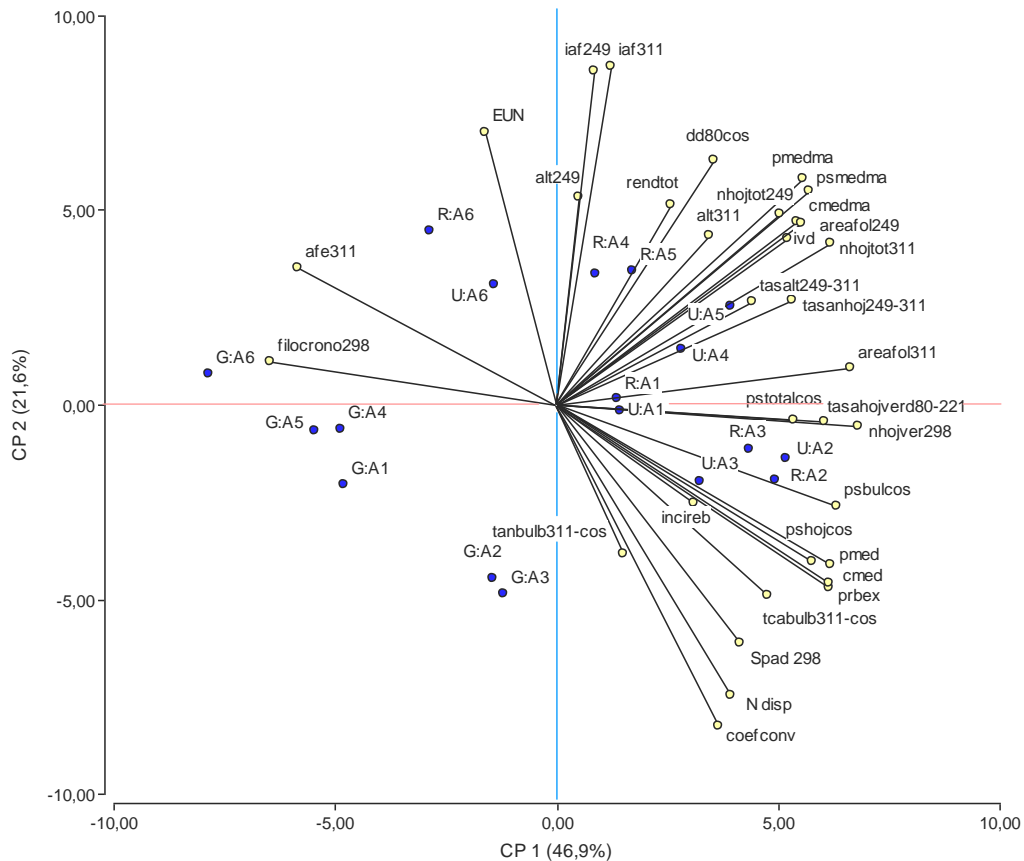


Figura 3.3. Biplot para las variables respuesta que representan el rendimiento (Tabla 1) según el plano conformado por las dos primeras componentes principales (CP) obtenidas del análisis (ACP). Los vectores marcan las variables, identificadas en amarillo. Los marcadores en azul representan los casos estudiados (combinación de clon y ambiente); el primer componente de cada identificador indica la cultivar (G:Gostoso INTA, R: Rubí INTA, U: Unión) y el segundo el ambiente de cultivo (A1: 28 plantas·m⁻² y N0; A2: 28 plantas·m⁻² y N100; A3: 28 plantas·m⁻² y N70/30; A4: 56 plantas·m⁻² y N100; A5: 56 plantas·m⁻² y N70/30; A6: 56 plantas·m⁻² y N0).

De las variables que presentan mayor “inercia” (vector de mayor magnitud) hacia la derecha en su proyección sobre la CP1, se destacan el número de hojas verdes cuantificadas hacia el día 298 (‘nhojver298’) y el área foliar desarrollada hacia el día 311 (‘areafol311’), las que representan un mayor crecimiento vegetativo final. Por su parte, acompañan con alta correlación la tasa de aparición de hojas verdes entre el 80% de emergencia y el día 221 (‘tasahojverd80-221’), el peso seco de bulbo a cosecha (‘psbulcos’) y la tasa de crecimiento del bulbo durante la etapa de llenado del mismo (‘tcabulbo311-cos’). La primera, representando la mayor velocidad de ocupación del espacio durante el crecimiento inicial del cultivo; la segunda, indicando la mayor partición de materia seca al bulbo, y la última, la mayor velocidad con la que ésta se acumuló.

También se destacan en la misma dirección el área foliar hacia el día 249 (‘areafol249’), la tasa de aparición del número de hojas totales entre los días 249 y 311 (‘tasanhoj249-311’), y el número de hojas totales al día 311 (‘nhojt311’), las que caracterizan un mayor crecimiento al final del crecimiento vegetativo inicial (alrededor del día 249) y su correlación positiva con el mantenimiento de esa mayor biomasa aérea hacia el final del rápido crecimiento vegetativo (alrededor del día 311).

También coinciden en la misma dirección las variables propias del material de propagación. Tanto el peso medio (‘pmedma’), y el diámetro medio del bulbo madre (‘cmedma’), como el peso medio de la semilla (‘psmedma’) presentan magnitudes similares, identificando una mayor potencialidad para producir bulbos de mayor tamaño.

Asimismo, se disponen en la misma dirección los vectores de las variables respuesta: peso medio de bulbo (‘pmed’) y diámetro medio de bulbo (‘cmed’) a cosecha, y también el rendimiento total de bulbos logrado por el cultivo (‘redtot’) y la proporción de bulbos exportables (‘prbex’).

Con menor magnitud, aparecen la cantidad de días desde 80% de emergencia a cosecha (‘dd80cos’), que representa una mayor longitud del período de cultivo, y la altura de planta al día 311 (‘alt311’) y la tasa de incremento de altura entre los días 249 y 311 (‘tasalt249-311’), que son también expresiones de mayor crecimiento vegetativo.

Los más altos rendimientos de Rubí INTA y Unión en tratamientos de baja densidad y fertilizados pueden ser así explicados por la mayor expresión vegetativa alcanzada por estos (Figura 3.3).

En tanto, en la dirección opuesta sobre el CP1 (valores negativos), se hace máxima el área foliar efectiva ('afe311'), que indica mayor área foliar por unidad de peso seco de hojas hacia el día 311, y el filocrono entre el 80% de emergencia y el día 298 ('filocrono298'), que implica una mayor suma térmica (y por consiguiente una menor velocidad) entre la aparición de dos hojas sucesivas. En esta misma dirección se ubican las respuestas de Gostoso INTA en todos los ambientes probados, caracterizando a esta cultivar como de más lento crecimiento vegetativo y, a la vez, formadora de un área foliar con menor acumulación de biomasa que pudiera luego ser traslocada al bulbo. Esto puede ser una explicación del marcado mal desempeño demostrado por este clon en estos ensayos.

Otro aspecto que se revela en la Figura 3.3, es la alta correlación positiva entre el índice relativo de clorofila ('Spad298') y el nitrógeno disponible en el suelo. Estos datos, asociados a los resultados obtenidos por Villas Bôas *et al.* (2003), apoyan la idea de que la medición directa del IRC hacia el final del rápido crecimiento vegetativo puede proveer una adecuada estimación del estado nutricional de la planta de ajo en relación directa al nivel de provisión de nitrógeno edáfico.

En cuanto a la eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN), se observa que en los ambientes en donde no se fertilizó se presenta una alta correlación negativa con el nitrógeno disponible en el suelo. Esto concuerda con lo observado por algunos autores trabajando con otros cultivos (Albarenque *et al.*, 2012; Navarrete *et al.*, 1991; Ramos 2002), quienes coinciden en afirmar que el aumento de los niveles de fertilizante y disponibilidad de nitrógeno ocasionan una disminución de la EUN. También, de manera coherente con estas observaciones, para igual disponibilidad de nitrógeno la EUN fue mayor en los tratamientos con mayor densidad de plantas, lo que concuerda a su vez en lo obtenido por Olalde *et al.* (2000) en ensayos realizados con cultivos de girasol, donde determinaron un incremento de la EUN como consecuencia del aumento de la densidad de población.

En el presente trabajo se estudian las respuestas frente a la modificación temporal del agregado de nitrógeno. En este sentido, en aquellos ambientes en donde se agregó el total de la dosis antes del rápido crecimiento vegetativo (coincidente con el inicio de las yemas laterales, que es el primer paso en el proceso de inicio de la bulbificación según Takagi, 1990), se presentaron valores inferiores de EUN respecto a aquellos tratamientos con alta densidad en los que se partió la dosis total entre el crecimiento vegetativo inicial y el rápido crecimiento del bulbo.

Por otro lado, y en coherencia con lo discutido hasta aquí, independientemente de la modalidad de fertilización probada la menor EUN se registró, en los tratamientos con poblaciones menos densas, en los tres clones (Tabla 3.6).

Más allá de la importante variabilidad de respuesta observada en esta variable, que sugiere su importancia como un carácter a considerar en la selección de cultivares de ajo, resulta interesante identificar aquellas variedades que además de una alta EUN presenten una elevada tasa de crecimiento. En este sentido, es destacable el desempeño de la variedad Unión, porque presentó valores relativamente altos de EUN y, a la vez, de partición de materia seca hacia el bulbo (tanbulb311cos; Tabla 3.6), lo que indica que es una variedad con habilidad para generar respuestas importantes aún en condiciones de relativamente baja disponibilidad de recursos.

Continuando con el análisis de la Figura 3.3, la proyección de las variables sobre el eje del CP2 muestra que, entre las covariables registradas durante el cultivo, la mayor inercia hacia abajo (valores negativos) la marcan el índice relativo de clorofila ('Spad 298') y el nitrógeno disponible en el suelo ('N disp'). En esta misma dirección se ubican en general las respuestas de Gostoso INTA, que se hacen máximas en los ambientes fertilizados y con baja densidad de plantación (A2 y A3). Esta asociación positiva entre las respuestas de Gostoso INTA y las covariables mencionadas (que se puede contrastar comparando los datos de las Tablas 3.2, 3.5 y 3.6), está indicando que el desempeño de esta cultivar es altamente dependiente de los niveles de nitrógeno disponible en el suelo. En este sentido, en trabajos previos se había estimado que, a diferencia de otros clones del mismo grupo ecofisiológico, en condiciones edáficas similares a las de esta experiencia, esta cultivar alcanza su mejor desempeño con fertilizaciones nitrogenadas de $300 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Lipinski, 2006a). Este valor es marcadamente superior al de $180 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ probado en estos experimentos y, a la luz de los resultados aquí obtenidos, esa relativa escasez de nutriente habría sido una causa principal del bajo rendimiento que obtuvo Gostoso INTA respecto de Unión y Rubí INTA.

Otra covariable con alta inercia hacia abajo en el CP2, y que se asocia positivamente con los mejores desempeños de Gostoso INTA, es el coeficiente de conversión (coefconv). En este sentido, puede decirse que el peso de la semilla utilizada para este clon fue menor que la de los otros, lo que, de acuerdo con lo observado por Stahlschmidt *et al.* (1997), puede explicar directamente que haya sido esta cultivar la que mostró la asociación más fuerte con esa covariable, ya que

el coeficiente de conversión crece de manera indirectamente proporcional con el tamaño (peso) del bulbillo plantado.

Siguiendo con el análisis sobre la CP2, hacia arriba (valores positivos) aparecen con mayor inercia variables que representan expresión vegetativa (iaf249 y iaf311, y con inercia menor, nhajt249, nhajt311, alt311 y areafol249), que se asocian positivamente con los clones más productivos y cultivados en mayor densidad, lo que lógicamente permitió mayor cobertura del suelo y mejor aprovechamiento del espacio y sus recursos.

Por último, en cuanto al índice visual de dormición (ivd), su asociación positiva con las respuestas de Rubí INTA y Unión se explica porque, al momento de la plantación, sus bulbillos se encontraban en un estado fisiológico más avanzado de superación de la dormición que Gostoso INTA (Tabla 3.2), con valores cercanos al óptimo (Burba, 1983).

A fin de caracterizar las diferencias observadas en las respuestas de cada uno de los clones, se realizaron análisis de regresión por mínimos cuadrados parciales (MCP, o PLS por sus siglas en inglés) de los términos de interacción clon-ambiente sobre las covariables de cultivo, de semilla y ambientales, consideradas en este trabajo.

En la Tabla 3.7 se presentan las sumas de cuadrado, en porcentaje, para cada fuente de variación de las variables respuesta. De acuerdo con estos datos, se decidió enfocar el análisis de MCP en las variables de rendimiento individual (peso medio de bulbos) y de rendimiento exportable (proporción de bulbos exportables), ya que fueron las que mostraron mayor variabilidad (porcentaje de suma de cuadrado) en la interacción clon-ambiente.

Tabla 3.7. Sumas de cuadrado (en porcentaje) correspondientes a clones (C), ambientes (A) y la interacción entre ambos (CA), para cada una de las variables respuesta consideradas.

FV	Peso medio de bulbo	Calibre medio de bulbo	Rendimiento total	Proporción de bulbos exportables
C	64	71	80	63
A	24	25	13	25
CA	12	4	7	12
	100	100	100	100

Referencias: FV, fuente de variación

Todos los modelos resultaron estadísticamente significativos para $P < 0,0001$. En todos los casos, la interacción clon-ambiente resultó estadísticamente significativa para $P < 0,05$ y las demás fuentes de variación para $P < 0,0001$.

En las Figuras 3.4 y 3.5 se presentan los Triplot resultantes de la correlación entre la matriz de residuos del análisis GREG, que permite caracterizar los ambientes (casos) a partir de la interacción que generaron con los clones y en función de su correlación con las covariables (vectores), para cada variable respuesta. Los dos primeros componentes en estos Triplot permitieron explicar, en conjunto, cerca del 80% y 70% de la variabilidad registrada, porcentajes considerados suficientes para continuar con el análisis (Balzarini *et al.*, 2008).

En la Figura 3.4 en particular, en la proyección sobre el primer componente (Factor 1), el análisis permitió discriminar hacia la izquierda (valores negativos) los casos de los ambientes de baja densidad, y hacia la derecha (valores positivos) los de alta densidad. Luego, en la proyección sobre el segundo componente, se pudieron discriminar los ambientes fertilizados (valores positivos) de los que no recibieron nitrógeno (valores negativos).

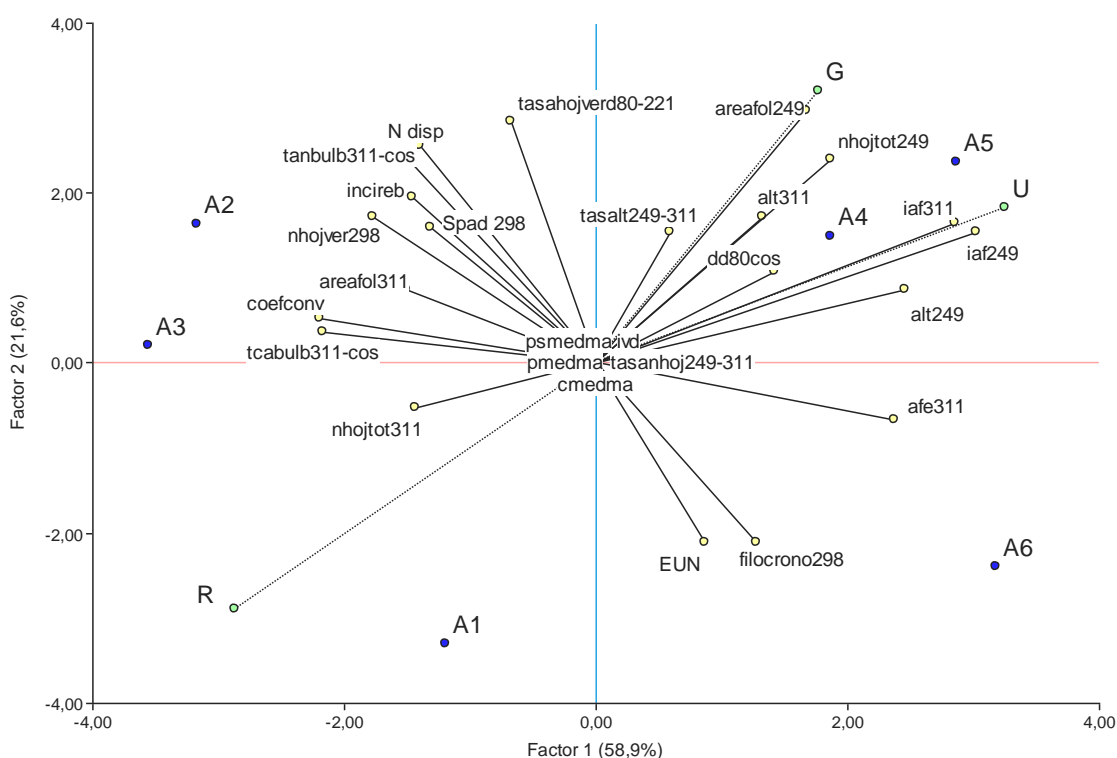


Figura 3.4. Triplot para peso medio de bulbo, obtenidos del análisis de regresión por mínimos cuadrados parciales de una matriz de interacción entre 3 clones y 6 ambientes (combinación de densidad de plantación y momento de provisión de nitrógeno) versus una matriz de covariables del cultivo, de semilla y ambientales. Los vectores con marcador verde representan los clones (G:Gostoso INTA, R: Rubí INTA, U: Unión) y con marcador amarillo las covariables. Los marcadores en azul representan los ambientes (A1: 28 plantas·m⁻² y N0; A2: 28 plantas·m⁻² y N100; A3: 28 plantas·m⁻² y N70/30; A4: 56 plantas·m⁻² y N100; A5: 56 plantas·m⁻² y N70/30; A6: 56 plantas·m⁻² y N0).

Según estos resultados, las respuestas en términos de peso medio de bulbo en los ambientes de alta densidad se explican esencialmente por mayor expresión vegetativa en la forma de área foliar y su concentración por unidad de superficie (iaf), y en menor medida también por la altura de planta. En tanto, en los ambientes de baja densidad los pesos medios de bulbo obtenidos se explican por mayores tasas de crecimiento y de asimilación neta del bulbo (en otras palabras, por la velocidad y eficiencia con que se particionó biomasa al bulbo), y también por la mayor disponibilidad de nitrógeno.

En líneas generales, los ambientes de alta densidad logran mayor biomasa fotosintetizante al inicio de rápido crecimiento vegetativo, sin embargo no alcanzan a sostener ese desempeño hacia el final del rápido crecimiento vegetativo. Dicha situación podría deberse presumiblemente a la falta de nitrógeno disponible en el suelo para las plantas. En contraposición, los ambientes con una distribución menos densa de plantas, mantienen la biomasa foliar hacia finales del rápido crecimiento vegetativo ('nhojver298', 'areafol311') coincidente con una mayor disponibilidad del nutriente ('N disp'), lo que permitiría al cultivo mantener durante el rápido crecimiento del bulbo una mayor velocidad ('tcabulb311-cos') y eficiencia ('tanbulb311-cos') de partición de fotoasimilados hacia el bulbo.

En cuanto a las diferencias entre ambientes fertilizados y no fertilizados, la respuesta en peso medio del bulbo en los primeros se caracteriza por el logro de mayor expresión vegetativa, tanto como por mayor partición al bulbo. Lógicamente, también, por mayor disponibilidad de nutriente. En los otros ambientes, en cambio, la respuesta obtenida se caracteriza por el escaso y pobre crecimiento, que se asocia sí a una mayor eficiencia en el uso del nitrógeno.

Un aspecto más, que surge también interesante de nombrar, es que los ambientes no fertilizados, en particular el A6, se asociaron positivamente a filocronos más altos; es decir, a mayor tiempo térmico entre la aparición de dos hojas sucesivas. Para entender esto es necesario considerar aquí que los valores de filocrono fueron calculados considerando la evolución sólo del número de hojas verdes; una variable que, en condiciones de mayor disponibilidad de nitrógeno, habría progresado más rápidamente por pérdida anticipada de hojas más viejas. De esta forma, en condiciones más limitantes en nitrógeno, podría estar ocurriendo un más lento recambio de hojas, aunque sin grandes variaciones en el número total; dicho de otra forma, una mayor duración de las hojas activas sería una respuesta posible de aclimatación de la planta de ajo a la relativa escasez de nutriente.

En cuanto a la Figura 3.5, para el análisis de las respuestas en términos de la proporción de bulbos exportables, la proyección sobre el primer componente también discriminó, hacia la izquierda, los ambientes de baja densidad, y hacia la derecha, los de alta densidad. En tanto, la proyección sobre el segundo eje discriminó, esencialmente entre los ambientes de alta densidad, las condiciones de mayor disponibilidad de nutriente (A4 y A5) respecto de la no fertilizada (A6).

En líneas generales, las características de cada grupo de ambientes (de alta o baja densidad de plantación), son las mismas ya comentadas para la Figura 3.4. Aparece aquí el filocrono con un rol más importante en la explicación de las respuestas de alta densidad, lo que contribuye a fundamentar, antes que a invalidar, la discusión previa sobre esta variable, ya que estaría indicando que la planta de ajo responde a una menor disponibilidad actual de nutriente haciendo que su biomasa fotosintetizante permanezca funcional por un poco más de tiempo.

Respecto a la proyección sobre el segundo componente, las variables que más fuerza tendrían en la explicación de las respuestas logradas en la proporción de bulbos exportables serían la altura de planta hacia el comienzo de la etapa de rápido crecimiento del bulbo y la tasa con que esa variable se manifestó durante el rápido crecimiento vegetativo. Ambas se asociaron positivamente a los tratamientos fertilizados y, por oposición, no tuvieron la misma fuerza en las respuestas del ambiente no fertilizado. En otras palabras, la fertilización con nitrógeno habría contribuido a generar una canopia diferente en las plantaciones más densas.

En cuanto a los clones probados, vale comentar que la respuesta de la cultivar Unión, asociada a los ambiente de alta densidad, podría ser explicada aquí por la rapidez con que ocupa el espacio aéreo durante la fase de rápido crecimiento vegetativo (tasalt249-311), y por su capacidad de generar mayor biomasa foliar (iaf249, iaf311 y nhajt311), unida al hecho de su más rápida brotación (mayor IVD, Tabla 2.1 del Capítulo II). Por otra parte, la explicación de las respuestas de Rubí INTA y Gostoso INTA en bajas densidades, podría estar en su mayor área foliar durante el rápido crecimiento del bulbo (hacia el día 311), junto con mayor ritmo de crecimiento y de asimilación neta del bulbo.

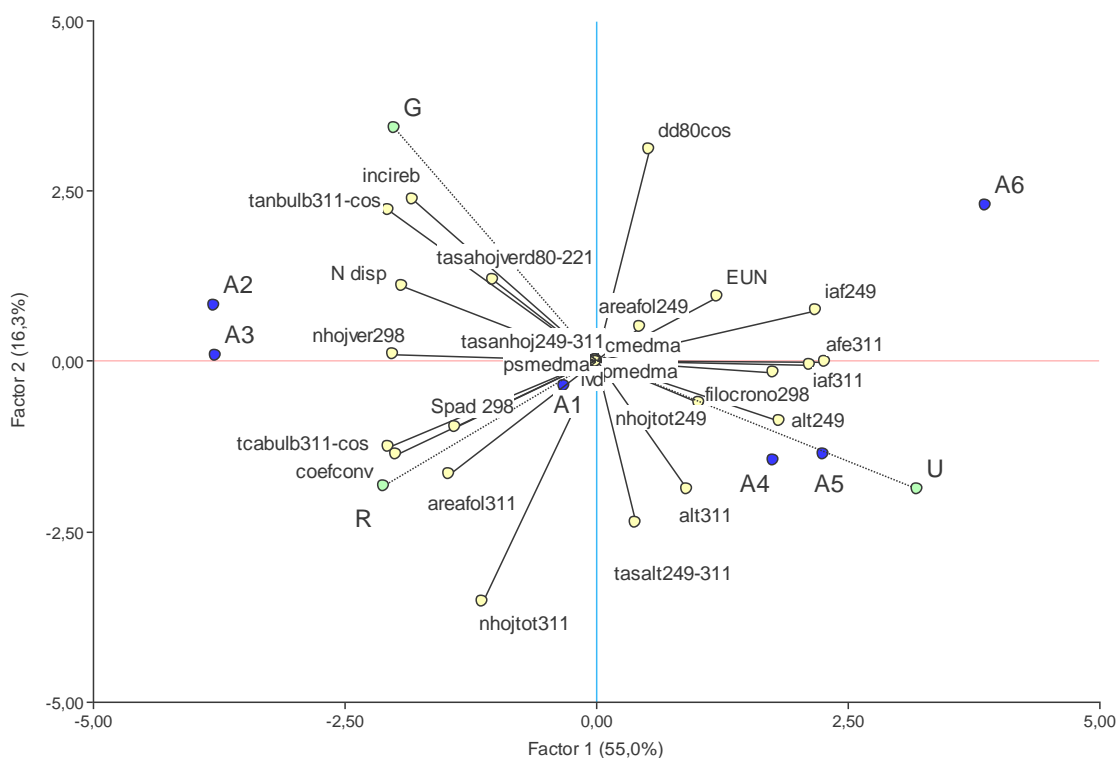


Figura 3.5. Triplot para proporción de bulbos exportables, obtenido del análisis de regresión por mínimos cuadrados parciales de una matriz de interacción entre 3 clones y 6 ambientes (combinación de densidad de plantación y momento de provisión de nitrógeno) versus una matriz de covariables del cultivo, de semilla y ambientales. Los vectores con marcador verde representan los clones (G:Gostoso INTA, R: Rubí INTA, U: Unión) y con marcador amarillo las covariables. Los marcadores en azul representan los ambientes (A1: 28 plantas·m⁻² y N0; A2: 28 plantas·m⁻² y N100; A3: 28 plantas·m⁻² y N70/30; A4: 56 plantas·m⁻² y N100; A5: 56 plantas·m⁻² y N70/30; A6: 56 plantas·m⁻² y N0).

3.4 CONCLUSIONES

En general, las respuestas de clones de ajo mediterráneos al efecto combinado de la modalidad de fertilización nitrogenada y de la densidad de plantación resultaron más fuertemente determinadas por la población de plantas y por la cantidad de nutriente disponible en el suelo, y no tanto por la partición de la dosis de nitrógeno.

Las plantaciones con densidades más elevadas, producen los rendimientos totales más altos, explicados por mayor expresión vegetativa del cultivo, y su vez disminuyen el rendimiento exportable, con mayor intensidad en los ajos Colorados que en los Blancos. Así también en dichos ambientes se mejoró la eficiencia en el uso del nitrógeno para todos los clones y disminuyó la incidencia de crecimiento secundario (“rebrote”), especialmente en el clon Blanco.

La modalidad de partición de la dosis de nitrógeno probada no consiguió generar respuesta diferenciales consistentes, lo que podría explicarse por la

interacción de este nutriente con los microorganismos del suelo. Otra posible explicación radica en que el aporte durante las primeras etapas del cultivo, en los ambientes donde se particionó la dosis, habría sido insuficiente para la demanda del cultivo.

Sin embargo, los ajos del GE IVb (Rubí INTA y Gostoso INTA) cultivados en alta densidad, mejoraron levemente su rendimiento exportable al complementar la dosis durante el rápido crecimiento del bulbo, por lo que el incremento de la dosis total de nitrógeno en estos casos podría mejorar dicha respuesta.

El clon del GE IIIb (Unión), en todos los ambientes fertilizados, logró similares proporciones de bulbos exportables, independientemente del ambiente de cultivo probado, presentando cierta adaptabilidad frente al incremento de la densidad de plantación como a la disponibilidad de nitrógeno. Esto indica que, para este clon, sería conveniente completar la totalidad de la dosis hasta el inicio del rápido crecimiento vegetativo.

La partición de la dosis (70/30) en los ambientes de mayor densidad mejora la EUN, ocurriendo lo contrario en aquellos menos densos. Unión resultó ser el clon más eficiente en la utilización del nutriente.

En general, las disponibilidades de nitrógeno probadas en estos experimentos fueron limitantes del rendimiento. Pero principalmente en el caso de Gostoso INTA, que se confirmó como mucho más exigente en este nutriente.

Unión optimiza su desempeño en alta densidad, mientras que Rubí INTA lo hace en baja densidad. Por su parte Gostoso INTA se desempeña mejor en baja densidad, sin embargo una insuficiente cantidad de nitrógeno aportado pudo haber condicionado el desarrollo de este clon en particular.

Por último, las plantaciones más densas promueven mayor expresión vegetativa del conjunto de plantas (potencial de cultivo), y en particular hasta el inicio del rápido crecimiento vegetativo. El incremento en la densidad de plantación debe ir acompañado por mayor provisión de nutrientes y agua, a fin de generar mayor biomasa fotosintetizante al final del rápido crecimiento vegetativo para cada individuo, que asegure el buen "llenado" del bulbo. En este sentido, resulta de interés probar la respuesta a dosis más altas de fertilizante nitrogenado con una planificación acorde del nivel de riego.

CONCLUSION FINAL

Atendiendo a la necesidad de sentar bases de conocimientos que contribuyan a mejorar la comprensión de la naturaleza de las respuestas de cultivares de ajo mediterráneo de los grupos ecofisiológicos IIIb y IVb, frente a la variación de los ambientes de cultivo en términos de disponibilidad de nitrógeno y densidad de plantación, surgen los siguientes aspectos relevantes:

- 1- Clones que presentan distinta precocidad de cosecha pero similar requerimiento fotoperiódico para bulbificar, pueden responder de manera diferencial a la combinación de densidad de plantación y modalidad de provisión de nitrógeno.
- 2- Densidades más elevadas, aumentan los rendimientos totales y disminuyen los individuales de todos los clones.
- 3- Clones del GE IVb, son favorecidos por plantaciones menos densas, mientras que el GE IIIb no resulta tan afectado por la mayor competencia intraespecífica generada en ambientes de mayor densidad de plantación, tanto en términos de rendimiento individual como exportable.
- 4- El incremento del número de plantas por unidad de superficie mejora la eficiencia de aprovechamiento del nitrógeno.
- 5- La partición de la dosis de nitrógeno, complementándola durante la etapa de rápido crecimiento del bulbo, mejora la eficiencia de uso del nitrógeno en los ambientes de población más densa, ocurriendo lo contrario en las densidades menores.
- 6- En el análisis conjunto de cultivares y ambientes probados, se establecieron patrones de interacción para el peso medio del bulbo y proporción de bulbos exportables. En general el GE IIIb responde mejor a plantaciones más densas, mientras que el GE IVb lo hace a las menos densas.

En relación a las hipótesis planteadas en este trabajo, se verificó que los grupos ecofisiológicos estudiados mostraron diferencias en sus respuestas frente a los ambientes probados (hipótesis 1).

Por otro lado, se observó que la partición de la dosis de nitrógeno entre el crecimiento vegetativo inicial y el rápido crecimiento del bulbo podría permitir la mejora en la eficiencia de uso del nutriente (hipótesis 2), siempre que se trabaje con altas poblaciones de plantas. El efecto no se logra con poblaciones normales, como las comúnmente empleadas en la Región.

Finalmente, a pesar de la escasa diversidad varietal probada en este trabajo, representada por sólo tres clones, aunque de distinta precocidad de cosecha, fue posible establecer la existencia de interacción clon-ambiente frente al efecto combinado de densidad de plantación y modalidad de provisión de nitrógeno (hipótesis 3), lo que da lugar a la necesidad de que se planteen planes de manejo diferencial por cultivar.

Los resultados aquí obtenidos pueden ser considerados como parte del conocimiento que se viene gestando en el cultivo del ajo, y así también como parte de las herramientas que ayuden a la toma de decisiones a la hora de implementar tecnologías de riego presurizado y fertigación.

Este estudio genera nuevos interrogantes respecto de la ecofisiología de los ajos de los grupos ecofisiológicos IIIb y IVb. En este sentido, resulta necesario incorporar la disponibilidad de agua en términos de láminas de riego, información que permitirá mejorar las recomendaciones de manejo de cultivo, ya que existe una relación entre el nivel de eficiencia con la que el ajo utiliza el recurso hídrico y el rendimiento del cultivo.

Por su parte, sería de interés generar nuevas líneas de trabajo, incrementando la dosis total de nitrógeno aportado, como también modificando la proporción incorporada durante la etapa de rápido crecimiento del bulbo.

Así también, la incorporación de otras cultivares de los tipos comerciales morado y blanco temprano, ambos pertenecientes al grupo ecofisiológico IIIa, quienes presentan una relevante participación en la oferta varietal de la Región Cuyana.

Por último, es preciso complementar estos resultados con el estudio de la biomasa microbiana de suelo, evaluando su dinámica durante el ciclo de cultivo, ya que la misma, afectaría la disponibilidad temporal de nutrientes para el cultivo.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

ABRIL, A., ACOSTA, M; OLIVA, L.; Y BACHMEIER, O. 1990. Dinámica Estacional de La Microflora En Un Haplustol Típico de La Región Semiárida Bajo Diferentes Manejos Agrícolas. *Ciencia Del Suelo* 8 (1): 31–39.

ALBARENQUE S.M.; CAVIGLIA O.P.; MELCHIORI R.J.M., 2012. Evaluación de la eficiencia en el uso de nitrógeno y respuesta a la fertilización nitrogenada por ambiente en el cultivo de maíz. I Congreso de Valor Agregado en Origen: integración Asociativa del Campo a la Góndola/ compilado por Mario Bragachini. - 1a ed. - Buenos Aires: Ediciones INTA, ISBN/ISSN 978-987-679-139-7

ALJARO, A. 1990. Evaluación de sistemas de plantación de semillas de ajo (*Allium sativum* L.).I. Densidad de población y distribución de las plantas en hileras simples y múltiples. *Agricultura Técnica (Chile)* 50(4):358-365.

ALJARO, A, Y ESCAFF, M. 1976. Fertilización nitrogenada y densidad de plantación en el cultivo de ajos (*Allium sativum* L.). *Agricultura Técnica (Chile)* 36(2):63-68.

ARBOLEYA, J.; GARCÍA, C.; SUÁREZ, C., 1997a. Consideraciones generales sobre la nutrición, el riego y la densidad de plantación en ajo. En: J.L. Burba (ed.), 50 Temas Sobre Producción de Ajo. Mendoza, EEA La Consulta INTA. Vol. 3. p. 112-119.

ARBOLEYA, J.; GARCÍA, C.; SUÁREZ, C., 1997b. Experiencias de fertilización nitrogenada, riego y población de ajo en Uruguay. En: J.L. Burba (ed.), 50 Temas Sobre Producción de Ajo. Mendoza. Vol. 3. p. 133-140.

BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M., CASANOVES F., DI RIENZO J.A., ROBLEDO C.W., 2008. Manual del Usuario Infostat, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.

BALZARINI, M.; BRUNO, C. y ARROYO, A. 2005. Análisis de ensayos agrícolas multi-ambientales. Ejemplos con Info-Gen. Brujas, Córdoba. 141 p.

BALZARINI, M. Y DI RIENZO, J. 2004. Info-Gen: Software para análisis estadístico de datos genéticos. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba. Argentina.

BURBA, J.L. 2003a. Ajos argentinos. Diferenciarse para ser más competitivos. *Revista IDIA XXI* 4(4):45-49.

BURBA, J.L. 2003b. Producción de ajo. PROAJO/INTA. Documento 069/03. La Consulta, INTA EEA La Consulta. 43 p.

BURBA, J. L., 1997. Sistemas de plantación semimecanizados de ajo. En: J.L. Burba (ed.), 50 Temas Sobre Producción de Ajo. Mendoza, EEA La Consulta INTA. Vol. 3. p. 89-94.

BURBA, J.L. 1991. Caracterización de cultivares y tipos clonales de ajo obtenidos e introducidos en Argentina. En: curso taller sobre producción, comercialización e

industrialización de ajo (2, 1991, San Carlos). Mendoza, INTA EEA La Consulta, p. 76-79 (Agro de Cuyo, Jornadas 1).

BURBA, J.L.; SALUZZO, J.A. Y. BLANCO, M.P. 1987. Propuesta de modificación del sistema de manejo cultural en ajo: I. Efecto de la densidad de plantación y el tamaño del bulbillo "semilla" sobre el rendimiento de ajo (*Allium sativum* L.) t.c. Rosado Paraguayo. Horticultura Argentina, 6 (12-14): 137-145

BURBA J. L., 1983. Efeito do manejo de alho semente (*Allium sativum* L.) sobre a dormencia, crescimento e produção do cultivar "Chonan". Tesis M.Sc. Viçosa, UFV. Imprensa Universitaria. 112 p

BUWALDA, J.G. 1986. Nitrogen nutrition of garlic (*Allium sativum* L.) under irrigation. Crop growth and development. Scientia Horticulturae 29:55-68.

CASTELLANOS, J. Z.; VARGAS TAPIA, P.; OJODEAGUA, J.L.; HOYOS, G.; ALCANTAR GONZALEZ, G.; MENDEZ, F.S. ; ALVAREZ SANCHEZ, E. Y GARDEA, A.A. 2004. Garlic Productivity and Profitability as Affected by Seed Clove Size, Planting Density and Planting Method. HortScience 39:1272-1277.

CITTADINI, E.D. Y ROMANO G.S. 2004. Efecto de la población de plantas y del peso medio del "diente semilla" sobre el rendimiento, el calibre, la tasa de conversión, la uniformidad de los bulbos y el nivel de pérdidas de plantas en ajo Violeta Santacruceño. Horticultura Argentina 23(54):12-19.

DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M., ROBLEDO C.W. 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

EL-SHAL, Z. S.; RADWAN, E. A.; ZAKI, M.F. Y. RIZK, F. A. 2011. The productivity of garlic plant (*Allium sativum*, l.) as affected by plant densities and NPK application. J.Plant Production, Mansoura., 2(7): 865-875.

ESCAFF, M.; ALJARO, A. 1982. Dos ensayos sobre el efecto del nitrógeno y fósforo en ajo rosado Agricultura Técnica (Chile) 36(2) p. 143-147

FERNANDES DA COSTA, E; FARIA VIEIRA, R. Y VIANA, P.A. 1994. Quimigação. Aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação. Brasília, EMBRAPA. 315 p.

FRIONI L. 2006. Microbiología: Básica, Ambiental y Agrícola. Uruguay: Departamento de Publicaciones de la Facultad de Agronomía. Universidad de la República Oriental del Uruguay.

FUNDACIÓN IDR. 2011. Estimación de volúmenes y calibres de ajo en la provincia de Mendoza. Periodo agrícola 2011/2012. 2 p. Disponible en <http://www.idr.org.ar>.

GAVIOLA DE HERAS, S. Y LIPINSKI, V. 2004. Evaluación de rendimiento y nitratos en ajo cv. Nieve INTA con riego por goteo. Agricultura Técnica 64(2):172-181.

GAVIOLA DE HERAS, S. Y LIPINSKI, V. 2002. Diagnóstico rápido de nitrato en ajo cv. Fuego INTA con riego por goteo. Ciencia del Suelo 20(1):43-49.

GAVIOLA DE HERAS, S.; FILIPPINI, M. F. Y LIPINSKI, V. 1991. Ritmo de crecimiento y absorción de nutrimentos en ajo (*Allium sativum* L.). Efecto de la fertilización sobre componentes del rendimiento en los tipos "blanco" y "colorado". En: curso taller sobre producción, comercialización e industrialización de ajo (2, 1991, San Carlos). Mendoza, INTA EEA La Consulta, p.. 105-112 (Agro de Cuyo, Jornadas 1).

GONZÁLEZ, M., 1999. Guía tentativa para el cálculo de la exigencia de fertilización de acuerdo a las disponibilidades de N, P, K del suelo. Folleto-INTA Mendoza.

GROS, A. Y DOMÍNGUEZ, A. 1992. Abonos. Guía práctica de la fertilización. 8º edición. Ediciones Mundi-Prensa. 450 p.

GROSSO, L.; CRESPI, R. Y RAMOS, D. 2009. Ajo regado con dos calidades de agua y fertilizado con nitrógeno. Universidad Nacional de Río Cuarto. Río Cuarto, Córdoba. Horticultura Argentina 28(66):10-17.

HOSSAIN, M., M. ASHRAFUZZAMAN, M. S. HOQUE Y M. A. HOQUE. 2003. Effect of seed clove size and spacing on growth performance of garlic. Muarik Bulletin 6: 123-128.

HUEZ LÓPEZ, M.A.; LÓPEZ, J.; JIMÉNEZ, J.; GARZA ORTEGA, S.; PRECIADO, F. A.; ÁLVAREZ A.; VALENZUELA, P. Y RODRÍGUEZ, J. 2010. Fertilización nitrogenada en el cultivo de ajo (*Allium sativum* L.) bajo riego por goteo en la Costa de Hermosillo. BIOtecnica 12(3):23-31.

HUNT, R. 1990. Basic Growth Analysis. Unwin Hyman Ltd., London, UK; and Winchester, MA

KILGORI, M.J.; MAGAJI, M.D. Y YAKUBU A. I. 2007. Effect of plant spacing and date of planting on yield of two garlic (*Allium Sativum* L.) cultivars in Sokoto, Nigeria. American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci., 2 (2) p.153-157.

LIPINSKI, V. Y GAVIOLA DE HERAS, S. 2006a. Evaluación del rendimiento y calidad de cultivares de ajo colorado fertirrigados con nitrógeno. Cultivares de ajo colorado fertirrigados con nitrógeno. Rev. FCA UNCuyo 38(2):37-48.

LIPINSKI, V. M. Y GAVIOLA, S. 2006b. Respuesta a la fertirrigación nitrogenada de cultivares monoclonales blancos de ajo (*Allium sativum* L.). Horticultura Argentina 25(58):14-20.

LIPINSKI, V. M. Y GAVIOLA, S. 2005. La fertirrigación con nitrógeno y su influencia sobre el rendimiento y la calidad de distintas cultivares de ajo colorado de INTA. Informe Anual de Progresos 2005. Estación Experimental Agropecuaria La Consulta. La Consulta, Mendoza. p. 46-50.

LIPINSKI, V. Y GAVIOLA DE HERAS, S. 2003. Ajo Nieve INTA, densidad de plantación y fertirrigación nitrogenada. Rev. FCA UNCuyo 35(2):87-93.

LIPINSKI, V. Y GAVIOLA DE HERAS, S. 1999. Fuentes y dosis de nitrógeno en fertilización de ajo cv. Fuego INTA. Horticultura Argentina 18(44-45):28-32.

LIPINSKI, V. Y GAVIOLA DE HERAS, S. 1997. Manejo de la fertilización y el abonado en cultivos de ajo en Mendoza. En: J.L. Burba (ed.), 50 Temas Sobre Producción de Ajo. Mendoza, EEA La Consulta INTA. Vol. 3. p.120-130.

LIPINSKI, V.; GAVIOLA DE HERAS, S. Y FILIPPINI, M. F. 1995. Influencia del riego. La fertilización nitrogenada y el tamaño del diente sobre el rendimiento y la calidad del ajo colorado (*Allium sativum* L.). Ciencia del Suelo 13:80-84.

LÓPEZ FRASCA, A. Y PORTELA, J.A. 2006. Respuesta de clones de ajo (*Allium sativum*) frente a ambientes variables. Horticultura Argentina 25(58):21-25.

MAROUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C.; CARRIJO, O.A.; SILVA, H.R. 2002. Produção e qualidade de alho sob regimes de água no solo e doses de nitrogênio. Horticultura Brasileira 20(2):191-194.

MARTÍNEZ, L. 2011. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos sobre las características físico-químicas y microbiológicas de suelos bajo cultivo de vid de la provincia de Mendoza. Tesis de Maestría en Ciencia del Suelo. Universidad de Buenos Aires. Argentina.

MENEZES SOBRINHO, J.A. DE & TORRES CORDEIRO C.M. 1979. Efeito do espaçamento entre fileiras e plantas e do tamanho do alho planta sobre a produção de bulbos. In: Congresso Brasileiro de Olericultura, 19. Floreanópolis - SC, EMPASC. p 202-205.

MINARD, H. 1978. Effect of clove size, spacing, fertilizers, and lime on yield and nutrient content of garlic (*Allium sativum* L.). NZ Journal of Experimental Agriculture 6:139-43.

MORAVČEVIĆ, D.; BJELIĆ, V.; SAVIĆ, D.; GVOZDANOVIĆ, J.; BEATOVIĆ, D.; JELAČIĆ, S. Y ZARIĆ, V. 2011. Effect of plant density on the characteristics of photosynthetic apparatus of garlic (*Allium sativum* var. *vulgare* L.). African Journal of Biotechnology 10(71):15861-15868.

MUJICA RIVERO, H. 2012. Crecimiento, desarrollo, producción y calidad del ajo (*Allium sativum* L.) en respuesta a la densidad de siembra y la nutrición potásica. Tesis doctorar, Universidad Central de Venezuela

NAVARRETE, C.; FRITSCH, N. Y FERREYRA, R. 1991. Riego y fertilización en el cultivo de ajo (*Allium sativum* L.) cv. Rosado-INIA. Agricultura Técnica (Chile) 51(3):237-244.

OLALDE GUTIÉRREZ, V. M., ESCALANTE ESTRADA, J. A., SÁNCHEZ GARCÍA, P., TIJERINA CHÁVEZ, L., ENGLEMAN CLARK, E. M, MASTACHE LAGUNAS, A. A. 2000. Eficiencia en el uso del agua y del nitrógeno, y rendimiento del girasol, en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálido. Terra Latinoamericana. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57318106>. ISSN 1870-9982

PÉREZ, A.; BUSTAMANTE, C. ; RODRÍGUEZ, P Y VIÑALS, R. 2005. Influencia de la fertilización nitrogenada sobre la microflora edáfica y algunos indicadores del

crecimiento y el renimiento de *Coffea canephora* P. cultivado en suelo pardo ócrico sin carbonatos. Cultivos Tropicales, vol 26, nº 2, p. 65-71.

PORTELA, J. A. 2013a . Crecimiento y desarrollo de la planta de ajo. En: 100 temas sobre producción de ajo. Bases ecofisiológicas e ingeniería de cultivo. Volumen 3, p. 8-35.

PORTELA, J. A. Y LUCERO C.C., 2013b. Tecnologías “costo cero” para el cultivo de ajo. En: 100 temas sobre producción de ajo. Bases ecofisiológicas e ingeniería de cultivo. Volumen 3, p. 48-76.

PORTELA, J.A.; LANZAVECHIA, S.; BURBA, J.L.; LUCERO, C. Y OCAÑAS, R. 2012. Variability of *Allium sativum* group *sativum* clones in Mendoza, Argentina. Acta Hort. (ISHS) 969:97-102.

PORTELA, J.A. 2011. Una variedad para cada necesidad. Importancia de las alternativas varietales del INTA en los escenarios futuros para el Ajo Argentino. En: curso taller sobre producción, comercialización e industrialización de ajo (12, 2011, San Juan). Mendoza, INTA EEA La Consulta, p. 69-83.

PORTELA, J.A. Y LUCERO, C. 2009. Estudios de crecimiento comparado en clones de ajo INTA tipos comerciales morado, violeta, blanco, colorado y castaño – Síntesis de 3 años. En: curso taller sobre producción, comercialización e industrialización de ajo (11, 2009, Tupungato, Mendoza). Mendoza, INTA EEA La Consulta, p. 76-78.

PORTELA, J. A. 2007. Ajo Argentino. Pautas de cultivo para la Región Andina Central argentina. 1ª Edición. La Consulta. INTA EEA LA Consulta, p 88.

PORTELA, J.A. Y LUCERO, C. 2007. Caracterización ecofisiológica de cultivares clonales de ajo. En: curso taller sobre producción, comercialización e industrialización de ajo (10, 2007, Mendoza). Mendoza, INTA EEA La Consulta, p. 57-69.

PORTELA, J.A. 2005. Escala ecofisiológica para ajos blancos y violetas: una herramienta fundamental para la toma de decisiones en el cultivo. En: curso taller sobre producción, comercialización e industrialización de ajo (9, 2005, Mendoza). Mendoza, INTA EEA La Consulta, p. 95-100.

PORTELA, J.A. 2003. Avances en la ecofisiología del ajo. En: curso taller sobre producción comercialización e industrialización de ajo (8, 2003, Mendoza). Mendoza, INTA EEA La Consulta, p. 53-66.

PORTELA, J.A. 1998. Factores involucrados en el “rebrote” del ajo (*Allium sativum* L.) e implicancias en el manejo del cultivo. Avances en Horticultura 3(1):30-42.

PORTELA, J.A. 1996. El ambiente como regulador del desarrollo de las plantas. Su efecto sobre el ajo (*Allium sativum* L.). Avances en Horticultura 1(1):19-40.

RAMOS VÁSQUEZ, E. Y ZÚÑIGA DÁVILA, D. 2008. Efecto de la humedad, temperatura y ph del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio. Ecología Aplicada, 7(1,2), p. 123-130. Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú.

RAMOS, C.; ALCÁNTAR, G.; GALVIS, A.; PEÑA, A.; MARTÍNEZ, A. 2002. Eficiencia de uso del nitrógeno en tomate de cáscara en fertirriego. Terra Latinoamericana. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57320411>. ISSN 1870-9982

REGHIN, M. Y.; FERNANDES OTTO, R.; ZAGONEL, J.; DALLA PRIA, M. Y VAN DER VINNE, J. 2004. Respostas produtivas do alho a diferentes densidades de plantas e peso de bulbilhos-semente. Ciênc. Agrotec., Lavras, 28(1):87-94.

RESENDE, G. M. Y SOUZA, R. J. 2001. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio sobre a produtividade e características comerciais do alho. Horticultura Brasileira 19(2):126-129.

RESENDE, F.V.; R. DE OLIVEIRA, P.S. Y DE SOUZA, R.J. 2000. Crescimento, produção e absorção de nitrogênio do alho proveniente de cultura de tecidos cultivado com doses elevadas de nitrogênio. Horticultura Brasileira 18(1):31-36.

RIGONI, C.; LÓPEZ FRASCA, A.; SILVESTRI, V. Y BURBA J.L. 1993. Efecto de la distribución espacial (rectangularidad) sobre la productividad de clones experimentales de ajo (*Allium sativum* L.). En: curso taller sobre producción, comercialización e industrialización de ajo (3, 1993, Mendoza). Mendoza, INTA EEA La Consulta, p. 163-168.

RUIZ, R. 1985a. Variación estacional de los tenores foliares de N, P, K, Ca, Mg y microelementos y estándares preliminares para N en ajos. Agricultura Técnica (Chile) 45(2):159-161.

RUIZ, R. 1985b. Ritmo de absorción de nitrógeno y fósforo y respuesta a fertilizaciones de N P en ajos. Agricultura Técnica (Chile) 45(2):153-158.

SALEEM, J. M. 2004. Studies on the management strategies for bulb and seed production of different cultivars of onion (*Allium cepa* L.). A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor Philosophy in Agriculture (Horticulture). Gomal University. Pakistán.

SILVA MACÊDO, F. DE SOUZA, R.J.; Y MAGELA PEREIRA, G. 2006. Controle de superbrotamento e produtividade de alho vernalizado sob estresse hídrico. Pesq. Agropec. Bras. 41(4):629-635.

SOLUZZO, J.; VILLAFañE, N. Y FIGUEROLA, P. 2010. Bulbificación de cuatro tipos comerciales de ajo (*Allium sativum* L.) en las condiciones ambientales del Valle Antinaco-Los Colorados, La Rioja, Argentina. Horticultura Argentina 29(68) p.10-19

SOLUZZO, J. 2003. Nutrición nitrogenada, crecimiento, y rendimiento de ajo (*Allium sativum* L.) en respuesta a la fertilización nitrogenada en el SE de Buenos Aires, Argentina. Agroscintia 20:53-60.

SOTOMAYOR, I. 1975. Efecto de la fertilización nitrogenada y densidad de plantas en la producción de ajos. Agricultura Técnica (Chile) 35:175-178.

STAHLSCHMIDT, O.M.; CAVAGNARO, J.B. 1997. Aspectos ecofisiológicos del cultivo de ajo. En: Burba, J.L. (ed.) 50 Temas sobre Producción de Ajo. Ingeniería de Cultivo.

La Consulta, Mendoza: INTA EEA La Consulta. v.3, p. 20-38. Publicado además en: <http://inta.gob.ar/documentos/50> temas sobre producción de ajo.

STAHLSCHEMIDT O.M., CAVAGNARO J.B., BORGIO R. 1997. Influence of planting date and seed clove size on leaf area and yield of two garlic cultivars (*Allium sativum* L.). *Acta Hort. (ISHS)* 433, 519-525.

TAKAGI H. 1990. Garlic *Allium sativum* L. En: Rabinowitch HD y Brewster JL (Ed) *Onions and allied crops*. 3. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp 109-157.

VILLAS BÔAS RL; GODOY LJG; VERZIGNASSI JR; KUROSAWA C. 2003. Teor de clorofila e de nitrogênio estimados pelo clorofilômetro nas folhas de plantas de alho. *Horticultura Brasileira* 21: 354-360.

ZAMAN, M. S.; HASHEM, M. A.; JAHIRUDDIN M.; RAHIM M. A. 2011. Effect of nitrogen for yield maximization of garlic in old Brahmaputra flood plain soil. *Bangladesh J. Agril.* 36(2):257-367.