

Efecto de la densidad de siembra y la nutrición potásica sobre los componentes de crecimiento en ajo morado

Effect of planting density and potassium fertilization on growth components in purple garlic

Henry Mujica-Rivero*, María Pérez de Camacaro y María Elena Sanabria

Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado" (UCLA), Barquisimeto, Venezuela. *Correo electrónico: hmujicar@yahoo.com

RESUMEN

En Venezuela, el ajo (*Allium sativum* L.) es un cultivo rentable, aunque presenta algunos problemas en el manejo de la densidad de plantación y la nutrición mineral. El propósito de esta investigación fue evaluar el efecto de la densidad de siembra y las dosis de KNO_3 sobre algunos parámetros de crecimiento en ajo criollo morado. Se utilizó un diseño en bloques al azar con arreglo de tratamientos en parcelas divididas, con 3 densidades de siembra: 100, 50 y 33 plantas. m^{-2} ; y 3 dosis de KNO_3 : 25, 50 y 100 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Las variables evaluadas fueron: número de hojas, índice relativo de clorofila, índice de área foliar, radiación fotosintéticamente activa y masa fresca del follaje. Las determinaciones se realizaron a los 30, 60 y 90 días después de la siembra. La interacción entre la densidad y las dosis de KNO_3 tuvo un efecto bien marcado sobre el índice de área foliar, pero no sobre las otras variables evaluadas. Se observó un efecto individual de los factores sobre el crecimiento vegetativo de ajo morado; las plantas crecidas en las parcelas menos densas y fertilizadas con las mayores dosis, produjeron el mayor número de hojas, índice relativo de clorofila, radiación fotosintéticamente activa y masa fresca del follaje.

Palabras clave: *Allium sativum* L., manejo agronómico, fertilización, caracteres morfológicos y fisiológicos.

ABSTRACT

Garlic (*Allium sativum* L.) is a profitable crop in Venezuela although it presents some problems in the management of the population density and mineral nutrition. The purpose of this research was to evaluate the effect of planting density and KNO_3 doses on some growth parameters in purple garlic. A randomized block design under split plot treatments with three planting densities: 100, 50 and 33 plants. m^{-2} and 3 doses of KNO_3 : 25, 50 and 100 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ was used. The variables number of leaves, relative chlorophyll index, leaf area index, photosynthetically active radiation and fresh mass of foliage were evaluated at 30, 60 and 90 days after planting. The interaction between planting density and KNO_3 doses had a great effect on leaf area index, but not on the other variables. Since the highest values in number of leaves, relative chlorophyll index, photosynthetically active radiation and fresh mass of foliage were obtained in plants developed in the lowest planting densities and the highest dose of fertilization, an individual effect on vegetative growth factors in purple garlic was observed.

Key words: *Allium sativum* L., agronomic practices, fertilization, morphological and physiological characters.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento demográfico de la población venezolana demanda el aumento de la producción hortícola. Sin embargo, la oferta de productos se ve afectada debido a la firme reducción y degradación de los recursos suelo y agua, siendo imperante cultivar la tierra de forma sustentable, optimizar el uso del agua, mejorar la nutrición de los cultivos y ejecutar otras labores agronómicas de forma más eficiente y efectiva.

En Venezuela la producción de ajo está asociada a la aplicación de fertilizaciones poco eficientes y el uso de bajas densidades de siembra que se traducen en altos costos, pocos rendimientos y baja calidad. El manejo inadecuado de estas prácticas ha contribuido a la pérdida de competitividad en el mercado nacional, disminuyendo la superficie de siembra en las zonas rurales donde la calidad y el precio, más que el volumen/área, representan la única estrategia competitiva para comercializar el producto.

Por lo tanto, el cultivo de ajo requiere diferentes estrategias para el mejor aprovechamiento de los recursos suelo y agua, de manera que la planta alcance un mayor desarrollo, incremente la acumulación de biomasa en el bulbo y por consiguiente elevar el rendimiento y la calidad.

En este contexto, el cultivo de ajo pudiera alcanzar un crecimiento ideal si se establece con una óptima densidad de plantación que minimice la competencia entre plantas por luz, agua y nutrientes. Asimismo, la aplicación de una oportuna y racional fertilización para mantener el nivel de fertilidad del suelo que pueda compensar la limitada capacidad de extracción de nutrientes que posee la planta (Brewster, 2011).

La cantidad de plantas por área está directamente relacionada con el rendimiento y la calidad del cultivo. La mayor densidad puede producir una proporción superior de bulbos de menor biomasa, pero eso es compensado con un número más alto de bulbos/área, en comparación con una baja densidad (Singh, 2015). Esos incrementos en la producción están asociados al mayor índice de área foliar, traducido en mejor eficiencia para la intercepción y absorción de radiación

fotosintéticamente activa, la cual es convertida en biomasa (Brewster, 2011).

El manejo de la densidad de plantación es una alternativa para controlar el crecimiento de la planta, así como el rendimiento y la calidad del bulbo. La competencia entre plantas depende de varias características: morfología de la planta, capacidad para extraer agua y nutrientes del suelo, respuesta a la temperatura y exigencia de fotoperíodo; los cuales en conjunto o de forma individual afectan los rendimientos (Abdollah, 2009).

La relación entre la densidad y la producción ha sido estudiada por muchos investigadores (Castellanos *et al.*, 2004; Shock *et al.*, 2004; Dale y Schumann, 2005; Ngouajio, 2008), reportándose incrementos del rendimiento con el aumento de la densidad; aunque esto también reduce la calidad del bulbo (Saleem, 2004).

Por otra parte, la nutrición mineral juega un papel importante para el manejo de la plantación, ya que permite aumentar el rendimiento de los cultivos. La fertilización constituye una inversión clave en la tecnología hortícola moderna, por lo que debe realizarse de forma eficiente y oportuna dentro del ciclo del cultivo.

Actualmente, el uso racional de los nutrientes minerales, junto al manejo integrado de la producción y los costos, han jugado un papel fundamental en el desarrollo sustentable de la agricultura. Aunque el manejo integrado es la manera más rápida para elevar la producción, el excesivo incremento de la demanda en el país, aunado a su alto costo y otras variables (malas formulaciones, baja suplencia y poca disponibilidad de información durante el ciclo del cultivo), frecuentemente desaniman a los productores para utilizarlos en las dosis recomendadas y en la proporción balanceada (Gaviola y Lipinski, 2008).

El crecimiento de las plantas requiere la incorporación de elementos esenciales. El potasio en su forma soluble, ya sea libre o unido de manera estructural a otros compuestos nutritivos, contribuye en la reducción de los potenciales osmóticos y por consiguiente a desarrollar la presión de turgencia necesaria para mantener la velocidad de crecimiento de la planta (Mengel y Kirkby, 2001).

De acuerdo con Marschner (2002), cuando el potasio está deficiente en el suelo o no es suplido en las cantidades adecuadas el crecimiento y la producción de la planta son reducidos. En ajo se ha demostrado su rol crucial en la activación enzimática, relaciones energéticas, translocación de asimilados y síntesis de proteínas (Rosen y Tong, 2001). Otra función importante es la regulación de la apertura y cierre estomático, el cual es fundamental para la entrada de CO_2 necesario para la fotosíntesis (Blanke, 2009).

En la planta de ajo, una vez emergidas las raíces, los nutrientes son aportados por éstas a partir de la solución del suelo, trasladándose rápidamente hacia las hojas en crecimiento activo, lo que provoca la expansión de las mismas con el consiguiente incremento en la biomasa.

Los elementos requeridos en mayor cantidad son nitrógeno y potasio. Evidencias experimentales han demostrado que sus contenidos en hojas y bulbos presentan las mismas tendencias de incrementos en sus respectivas materias secas (Juškevičienė *et al.*, 2016). Sobre la base de estas consideraciones, se realizó el presente trabajo cuyo propósito fue evaluar el efecto de la densidad de siembra y las dosis de KNO_3 sobre algunos parámetros de crecimiento en ajo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en la Finca San Isidro, situada en la localidad de Monte Carmelo, estado Lara, a una altitud de 1700 m.s.n.m. La fertilización estuvo basada en 90 kg.ha^{-1} de urea a los 10 días después de la siembra (DDS), 70 kg.ha^{-1} de fórmula completa (12-24-12) al inicio de la bulbificación y 70 kg.ha^{-1} de 12-12-17 en plena bulbificación (75 DDS). Se utilizó riego por aspersión, aplicado en intervalos de 3 días. El control de malezas se realizó con Fluazifop-p-butil (1 L.ha^{-1}) a los 15 y 45 DDS. Para el caso de los trips se empleó Metamidofos (1 L.ha^{-1}).

Se utilizó un diseño de experimento en bloques al azar (5 bloques) con arreglo de tratamientos en parcelas divididas; en las parcelas principales se emplearon 3 densidades de siembra: $D_1 = 33 \text{ plantas.m}^{-2}$ (15 cm entre plantas y 20 cm entre hileras), $D_2 = 50 \text{ plantas.m}^{-2}$ (10 cm entre plantas

y 20 cm entre hileras) y $D_3 = 100 \text{ plantas.m}^{-2}$ (5 cm entre plantas y 20 cm entre hileras); mientras que en las sub-parcelas se aplicaron 3 dosis de potasio (K): $K_1 = 25 \text{ kg.ha}^{-1}$, $K_2 = 50 \text{ kg.ha}^{-1}$ y $K_3 = 100 \text{ kg.ha}^{-1}$, empleando como fuente el nitrato de potasio (KNO_3). La suplencia adicional y distribución de las dosis de KNO_3 fue 25% en la siembra, 25% al inicio del crecimiento vegetativo y 50% al inicio de la formación del bulbo.

Al comienzo del ensayo se marcaron 135 plantas (3 plantas/subparcela/5 repeticiones/9 tratamientos) con la finalidad de evaluar cada 30 días las siguientes variables:

Número de Hojas (NH)

Se contó la cantidad de hojas de cada una de las 3 plantas marcadas en la subparcela, registrándose como número de hojas por planta.

Índice Relativo de Clorofila (IRC)

Se midió directamente con un Spad 502 (marca Minolta). Se tomaron lecturas en 3 hojas adultas de cada una de las 3 plantas marcadas en la subparcela, registrando el promedio por planta y expresado en Unidades Spad (US).

Índice de Área Foliar (IAF)

Se utilizó un ceptómetro digital marca AccuPAR, modelo LP-80, previamente calibrado. Se midió directamente en la base de las 3 plantas marcadas, en ambos lados de la hilera central de cada subparcela, registrando el promedio.

Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA)

Se midió en la hilera central de cada subparcela utilizando un ceptómetro digital, marca AccuPAR, modelo LP-80, previamente calibrado. Las mediciones se hicieron entre las 12:00 m y 1:00 pm en la base de las 3 plantas marcadas, en ambos lados de la hilera. Se registró el promedio por subparcela y fue expresado como $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

Masa Fresca del Follaje (MFF)

El follaje de cada planta fue seccionado y pesado en una balanza analítica marca Acculab, modelo VI-600 y se obtuvo el promedio para cada tratamiento, expresado en g.planta^{-1} .

Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza y en las variables que presentaron diferencias significativas al 5% de probabilidad se aplicó la prueba de medias de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Número de hojas

El NH durante el crecimiento del ajo criollo morado se presenta en el Cuadro 1. No se determinó interacción significativa entre los dos factores analizados, pero si hubo efecto individual para las densidades utilizadas.

En los datos presentados se puede observar que inicialmente el efecto de densidad no mostró una tendencia definida sobre el NH por planta porque en las primeras etapas del cultivo el crecimiento fue muy lento, pero a partir de los 60 DDS si exhibió una influencia significativa en esta variable. Las plantas crecidas en las parcelas con menor densidad (33 plantas.m⁻²) presentaron el mayor NH, lo cual está asociado

a la poca o ninguna competencia por luz, agua y nutrientes.

Al final de la evaluación la cantidad de hojas por planta decreció con el aumento de la población, registrándose el menor NH en las plantas crecidas en las parcelas de mayor densidad. Este efecto se atribuye a la influencia de la densidad sobre las características fenotípicas de las plantas de las parcelas densamente pobladas, que regulan la intercepción de radiación fotosintéticamente activa. La intensidad de luz absorbida determina la producción de área foliar al influir sobre la división y elongación celular (Rahim y Fordham, 1991).

Estos resultados están en concordancia con otros trabajos en los cuales 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 reducción en el NH, debido a los incrementos de las poblaciones de plantas. No obstante, Karaye y Yakubu (2006) encontraron que este parámetro se incrementó

Cuadro 1. Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO₃ sobre el número de hojas en ajo criollo morado.

Tratamientos	Número de Hojas (por planta)		
	DDS		
	30	60	90
Densidad (plantas.m ⁻²)			
33	5,0 ab	8,0 a	11,5 a
50	4,5 b	7,4 ab	10,4 b
100	5,1 a	6,9 b	10,0 b
Dosis KNO ₃ (kg.ha ⁻¹)			
25	5,0 a	7,5 a	10,4 a
50	4,8 a	7,3 a	10,8 a
100	4,8 a	7,5 a	10,7 a
Densidad*Dosis			
	ns	ns	ns
Xm	4,9	7,4	10,6
CV	12,22	5,9	4,3

Medias seguidas por letras distintas son significativamente diferentes según Tukey P<0,05

en ajo con distancias de 10 cm entre plantas, en comparación con 15 y 20 cm.

Por su parte, Karim *et al.* (2003) señalaron que en los primeros estadios del cultivo, el sombreado mutuo puede impedir el crecimiento en los espaciamientos más estrechos, y luego, a medida que las plantas se van desarrollando y tornando adultas, los efectos de la creciente competencia por el uso de nutrientes y agua, hacen que el crecimiento sea menor en las plantas con espaciamientos menores, comparados con distanciamientos más grandes.

Por otro lado, en esta investigación el NH no fue afectado por el aumento en la aplicación de KNO_3 en el suelo. Datos similares fueron reportados por Ramírez (2001) en cebolla con un máximo de 7 hojas por planta. La disrupción de los flujos de K puede ser alterada con altas concentraciones de este elemento que rebasen la tolerancia fisiológica de la planta (Marschner, 2002). Además, la planta de ajo carece de pelos absorbentes, lo cual pudiera influir sobre la absorción del K desde la solución del suelo. Al respecto, Moritzuka y Matsumoto (2006) han señalado que la eficiencia externa de la raíz es el primer mecanismo responsable de las pequeñas diferencias observadas en la absorción de K.

Estos resultados difieren de otros obtenidos por Saleem (2004) en cebolla, quien reveló que el NH por planta (12,7) fue mayor con $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de K, mientras que la menor cantidad de hojas por planta fue registrada en las plantas fertilizadas con la menor dosis de K ($50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). Asimismo, El-Desuki *et al.* (2006) reportaron un aumento en el NH de las plantas de cebolla con la aplicación de dosis adicionales de K, diferencias probablemente asociadas al tipo de cultivo, ya que el crecimiento en ajo está altamente afectado por variaciones en su constitución genética (Karklelienė *et al.* 2015), las técnicas agronómicas y las condiciones ambientales (Singh *et al.*, 2016).

Índice relativo de clorofila

En el Cuadro 2 se presentan los datos del IRC durante el crecimiento del ajo criollo morado. No se determinó interacción significativa entre los dos factores analizados, pero si se observó efectos individuales en algunas fechas de muestreo.

Se puede notar que en las primeras etapas de crecimiento, tanto en la densidad como en las dosis, no se observó un efecto significativo sobre el IRC, porque en ese momento el crecimiento del cultivo es muy lento debido a un incipiente aparato fotosintético. Al final de la evaluación (90 DDS), ambos factores de forma individual si exhibieron una influencia significativa en el IRC. Asimismo, esta variable decreció con el aumento de la población y con la dosis media, registrándose el IRC más alto en las plantas crecidas en las parcelas de menor densidad y con mayores dosis de KNO_3 . Este efecto se atribuye a la poca competencia por luz en las menores densidades y mayor aprovechamiento del KNO_3 en esta fase del cultivo.

De acuerdo con Seversike *et al.* (2009), las plantas adultas se adaptan menos a diferentes condiciones de luminosidad que aquellas en desarrollo. En este ensayo, a los 90 DDS se observó una reducción en el contenido de clorofila en las plantas crecidas en las parcelas más pobladas ($100 \text{ plantas} \cdot \text{m}^{-2}$); sin embargo, a los 30 y 60 DDS las 3 densidades resultaron con igual IRC, lo que pudiera explicar que al principio del crecimiento, las plantas de las parcelas con mayores densidades se adaptaron gradualmente a la competencia por luz.

Asimismo, a los 90 DDS las plantas de las parcelas con menor densidad de siembra ($33 \text{ plantas} \cdot \text{m}^{-2}$) registraron el mayor IRC en comparación con aquellas crecidas en las parcelas más pobladas. Se ha reportado que las plantas que se desarrollan a mayores distanciamientos crecen más rápidamente en área foliar, y sus hojas presentan cloroplastos con más granas y mayor número de tilacoides que maximizan la absorción de luz; mientras que los cloroplastos de las hojas ubicadas bajo sombra se tornan de color naranja por fototaxia negativa (Blanke, 2009).

Índice de área foliar

En el Cuadro 3 se muestran los datos del IAF durante el crecimiento del ajo criollo morado. A los 30, 60 y 90 DDS se determinaron interacciones significativas entre los dos factores analizados.

En los datos presentados se observa un incremento progresivo del IAF a medida que avanzó el ciclo vegetativo del cultivo.

Cuadro 2. Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO₃ sobre el índice relativo de clorofila en ajo criollo morado.

Tratamientos	Índice Relativo de Clorofila (Unidades Spad)		
	DDS		
	30	60	90
Densidad (plantas.m ⁻²)			
33	68,09 a	68,80 a	77,70 a
50	65,34 a	68,33 a	77,43 a
100	66,09 a	68,79 a	71,30 b
Dosis KNO ₃ (kg.ha ⁻¹)			
25	68,45 a	67,76 a	75,50 ab
50	64,21 b	69,15 a	74,05 b
100	66,85 ab	69,01 a	76,88 a
Densidad*Dosis	Ns	Ns	ns
Xm	66,5	68,6	75,4
CV	4,19	4,82	2,02

Medias seguidas por letras distintas son significativamente diferentes según Tukey P<0,05

Cuadro 3. Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO₃ sobre el índice de área foliar en ajo criollo morado.

Tratamientos		Índice de Área Foliar DDS		
Densidad (plantas.m ⁻²)	Dosis (kg.ha ⁻¹)	30	60	90
100	100	0,40 a	0,51 b	0,89 f
50	25	0,39 a	0,52 b	0,94 de
50	100	0,38 a	0,47 b	1,01 bc
100	25	0,35 ab	0,47 b	0,87 f
100	50	0,34 ab	0,46 b	0,91 ef
50	50	0,34 ab	0,52 b	0,97 cd
33	25	0,30 bc	0,50 b	1,04 ab
33	50	0,26 c	0,61 a	1,05 ab
33	100	0,25 c	0,59 a	1,08 a
Densidad*Dosis		**	**	**
Xm		0,33	0,51	0,97
CV		9,26	5,23	2,11

Medias seguidas por letras distintas son significativamente diferentes según Tukey P<0,05

A los 30 DDS cuando las plantas estaban más desarrolladas y tenían mayor cantidad de hojas, se detectó un aumento significativo en el IAF con la reducción de la población de plantas y la aplicación de mayores dosis de KNO_3 . Las plantas de las parcelas con bajas densidades de siembra (33 plantas. m^{-2}) registraron el mayor IAF en comparación con aquellas crecidas a mayores densidades. Esta respuesta se podría explicar por el incremento en la competencia por nutrientes, humedad y luz en las parcelas mayormente pobladas.

Se ha sugerido que aumentando la densidad de siembra se puede crear más espacio entre las plantas, lo cual minimiza la competencia y mantiene el ritmo de crecimiento del cultivo (Singh *et al.*, 2014). Las reducciones en el área foliar ocasionadas por el sombreado mutuo son, en la mayoría de los casos, resultantes de la poca expansión y división celular, lo cual ha sido demostrado en ajo (Rahim y Fordham, 1991; Castellanos *et al.*, 2004) y en cebolla (Saleem, 2004).

Por otro lado, la mayor disposición de KNO_3 pudiera compensar la competencia por nutrientes y favorecer el alargamiento y la expansión lateral de las células en las plantas crecidas en las parcelas donde se aplicaron las mayores dosis. Esto es consistente con reportes previos de que K es el elemento osmótico dominante que contribuye con el alargamiento celular y consecuentemente con la expansión de las hojas (Shabala, 2003).

En este sentido, Wang (2007) reportó que *Phalaenopsis* sp. produjo hojas más anchas con incrementos de los niveles de K en la solución nutritiva. Sin embargo, Ramírez (2001) no encontró efecto significativo de la aplicación de potasio sobre el IAF en cebolla.

Radiación fotosintética activa

En el Cuadro 4 se presentan los resultados de la RFA durante el crecimiento del ajo criollo morado. A los 30, 60 y 90 DDS no se determinaron interacciones significativas entre los dos factores analizados, pero si hubo efectos individuales.

Los valores resultantes de la determinación de la RFA evidencian que inicialmente el efecto de los factores no mostró una tendencia bien

definida, porque en las primeras etapas del cultivo el crecimiento fue muy lento y el aparato fotosintético limitado, por lo que la capacidad para captar luz fue baja. No obstante, al final de la evaluación, ambos factores exhibieron una influencia significativa en la RFA, ya que las hojas estaban más desarrolladas y había mayor cantidad de ellas. En esta etapa, los valores de RFA decrecieron con el aumento de la población, y con la reducción de las dosis de KNO_3 , se notó una respuesta diferencial entre los tratamientos.

Se produjo una reducción significativa en la RFA con el aumento de la densidad, de manera que las plantas crecidas en las parcelas con bajas densidades (33 plantas. m^{-2}) registraron las mayores tasas de RFA. Los valores más bajos fueron encontrados en las plantas de las parcelas con mayor población. Esta respuesta se debe al autosombreado entre estas y la consecuente regulación en la capacidad para interceptar radiación solar efectiva provocando una reducción en la acumulación de biomasa (Juskeviciene *et al.*, 2016).

Asimismo, se observó una relación estrecha entre el IAF y la RFA; es decir, las plantas con mayor IAF tienen mayor capacidad para captar más energía que posibilita el uso de toda la cantidad de radiación luminosa que llega hasta sus hojas para producir fotosintatos (Seversike *et al.*, 2009). Este factor puede permitir la fijación de CO_2 aún a bajos niveles de radiación neta con un costo mínimo de energía para producir y mantener el aparato fotosintético (Blanke, 2009).

Por lo tanto, con bajos niveles de radiación las plantas de ajo, igual que otras especies, pudieran desarrollar un mecanismo de compensación que les permita aumentar el IAF para interceptar mayor radiación. El IAF es considerado el componente morfológico del rendimiento en ajo, la arquitectura de la planta y el tipo de hoja permiten una mayor eficiencia del aparato fotosintético (Stahlschmidt *et al.*, 1997), lo cual puede ser aprovechado con un mejor arreglo en la plantación que permita el crecimiento de los brotes laterales (Singh, 2015).

Por otra parte, los resultados encontrados muestran que la mayor dosis de KNO_3 estimuló una mayor captación de energía por un mejor desarrollo del aparato fotosintético, produciéndose el crecimiento de las plantas y la

acumulación de biomasa, debido al importante rol del K en la transformación de energía y otros procesos metabólicos de la planta (Singh, 2015). Esto confirma lo postulado por Arguello *et al.* (2006) de que en ajo la absorción de nutrientes está en función del crecimiento, ya que su incremento provoca una mayor producción de masa foliar.

Masa fresca del follaje

La masa fresca del follaje durante el crecimiento del ajo criollo morado se presenta en el Cuadro 5. A los 30, 60 y 90 DDS no se determinaron interacciones significativas entre los dos factores analizados, pero si se encontraron efectos individuales para las densidades.

Cuadro 4. Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO₃ sobre la radiación fotosintéticamente activa en ajo criollo morado.

Tratamientos	Radiación Fotosintéticamente Activa ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)		
	DDS		
	30	60	90
Densidad (plantas.m^{-2})			
33	1707,2 a	1638,8 a	1838,1 a
50	1471,2 ab	1536,7 a	1596,2 b
100	1269,7 b	1290,9 b	1345,1 c
Dosis KNO ₃ (kg.ha^{-1})			
25	1415,0 b	1479,3 ab	1490,8 b
50	1539,5 a	1424,0 b	1645,4 a
100	1493,5 ab	1563,1 a	1643,1 a
Densidad*Dosis	Ns	ns	ns
Xm	1482,7	1488,8	1593,1
CV	7,15	7,22	7,85

Medias seguidas por letras distintas son significativamente diferentes según Tukey $P < 0,05$.

Cuadro 5. Efecto de la densidad de siembra y la fertilización con KNO₃ sobre la masa fresca del follaje en ajo criollo morado.

Tratamientos	Masa fresca del follaje (g.planta^{-1})		
	DDS		
	30	60	90
Densidad (plantas.m^{-2})			
33	13,24 a	30,20 a	30,30 a
50	11,15 a	19,89 b	22,61 b
100	7,06 b	12,82 c	15,87 c
Dosis KNO ₃ (kg.ha^{-1})			
25	9,87 a	19,24 b	20,50 b
50	10,44 a	20,23 ab	21,29 b
100	11,14 a	23,44 a	27,00 a
Densidad*Dosis	ns	ns	ns
Xm	10,48	20,97	22,93
CV	19,79	15,10	14,98

Medias seguidas por letras distintas son significativamente diferentes según Tukey $P < 0,05$.

Los resultados evidencian que la MFF mantuvo un incremento progresivo a medida que avanzó el ciclo del cultivo. Sin embargo, durante los primeros 60 DDS la velocidad de acumulación de MFF fue más rápida lo cual coincide con la etapa de crecimiento vegetativo, mientras que a los 90 DDS este proceso fue menos pronunciado porque ya había comenzado la fase de formación de bulbo.

Las diferentes densidades y las dosis de KNO_3 exhibieron un efecto significativo sobre la MFF, de manera que las plantas crecidas en las parcelas densamente pobladas y fertilizadas con menores dosis produjeron menor masa fresca de follaje comparadas con las parcelas escasamente pobladas y de mayores dosis de KNO_3 , la respuesta varió entre los tratamientos. El efecto individual de los dos factores evaluados se corresponde con un aumento en el NH y en el IAF, en consecuencia se produce una mayor acumulación de masa fresca por la movilización de fotosintatos (Mengel y Kirkby, 2001).

El aumento en la MFF con reducciones en las poblaciones también fue observado en cebolla (Ramírez, 2001; Saleem, 2004) y con incrementos en las tasas de K por El-Desuki *et al.* (2006) en el mismo cultivo. La densidad de población tiene diferentes efectos sobre la acumulación de biomasa dependiendo de los genotipos propios de cada variedad (Singh *et al.*, 2016).

El ajo morado pudiera tener una tendencia favorable para variar fenotípicamente bajo condiciones ambientales específicas, y podría ser sembrado a altas densidades debido a que responde más eficientemente a la competencia por radiación solar, uso de agua y nutrientes, e intercambio gaseoso para los procesos metabólicos.

CONCLUSIONES

La interacción entre la densidad y las dosis de KNO_3 tuvo un efecto marcado sobre el IAF, provocando un incremento sostenido a medida que se desarrolló el ciclo vegetativo. Sin embargo, esa interacción no fue significativa para las otras variables de crecimiento evaluadas.

De manera general, la densidad y las dosis de KNO_3 favorecieron el crecimiento vegetativo del

ajo morado. Las plantas crecidas en las parcelas menos densas y fertilizadas con las mayores dosis produjeron el mayor NH, IRC, RFA y MFF.

Para este material genético y bajo las condiciones de esta investigación se recomienda utilizar altas densidades y dosis intermedias de KNO_3 para aprovechar al máximo la superficie y ahorrar costos en fertilización.

LITERATURA CITADA

- Abdollah, M. 2009. Effect of planting dates and rows spacing on yield of dryland and irrigated cumin (*Cuminum cyminum* L.). Acta Hort. 826:301-308.
- Arguello, J. A., S. B. Núñez and A. Ledesma, C. Rodríguez y M. del C. Díaz. 2006. Vermicompost effects on bulbing dynamics, nonstructural carbohydrate content, yield, and quality of 'Rosado Paraguayo' garlic bulbs. HortScience. 41:589-592.
- Blanke, M. M. 2009. Regulatory mechanisms in source sink relationships in plant- a review. Acta Hort. 835:13-20.
- Brewster, J. 2011. Onions and other Alliums. 4th ed. Pretence Hill. UK. 210 p.
- Castellanos, J., P. Vargas, J. Ojodeagua, G. Hoyos, G. Alcántar, E. Álvarez and A. Gardea. 2004. Garlic productivity and profitability as affected by seed clove size, planting density and planting method. HortScience 39(6):1272-1277.
- Dale, K. and C. Schumann. 2005. Response of woodland-planted ramps to surface-applied calcium, planting density and bulb preparation. HortScience. 40(5):1516-1520.
- El-Desuki, A., M. Abdel-Mouty and A. Ali. 2006. Response of onion plants to additional dose of potassium application. J. Applied Sci. Research. 2(9):592-597.
- Gaviola, S. and V. M Lipinski. 2008. Effect of nitrogen fertilization on yield and color of red garlic (*Allium sativum* L.) cultivars. Cien. Inv. Agr. 35(1):57-64.
- Hossain, M., M. Ashrafuzzaman, M. S. Hoque and M. A. Hoque. 2003. Effect of seed clove

- size and spacing on growth performance of garlic. *Muarik Bulletin*. 6:123-128.
- Juškevičienė, D., R. Karklelienė, A. Radzevičius and A. Sasnauskas. 2016. Productivity and morphological features of garlic (*Allium sativum* L.) grown in Lithuania. *Agriculture & Forestry*. 62(4):109-116.
- Karaye, A. K. and A. I. Yakubu. 2006. Influence of intra-row spacing and mulching on leed growth and bulb yield of garlic (*Allium sativum* L.) in Sokoto, Nigeria. *Afr. J. Biotechnol.* 5(3):260-264.
- Karklelienė, R., E. Dambrauskienė, D. Juškevičienė, A. Radzevičius, M. Rubinskienė and P. Viškelis. 2015. Productivity and nutritional value of dill and parsley. *Horticultural Sciences* 41(3):131-137.
- Karim, A., H. Fukamachi and T. Hidaka. 2003. Photosynthetic performance of *Vigna radiate* L. leaves developed at different temperature and irradiance levels. *Plant Sci.* 164:451-458.
- Marschner, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. 4th ed. Academic Press, New York. 358 p.
- Mengel, K. and E. A. Kirkby. 2001. Principles of plant nutrition. Kluwer Academic Publishers. 5th ed. Dordrecht. Boston/London. 549 p.
- Moritzuka, N. and S. Matsumoto. 2006. An experimental approach to quantifying chemical and positional availability of soil potassium. *Soil Sci. and Plant Nutr.* 52:61-70.
- Ngouajio, M. 2008. Changes in onion (*Allium cepa* L.) yield and grade distribution in response to cover crop and plant population. *HortScience*. 43(4):1138.
- Rahim, M. A. and R. Fordham. 2001. Environmental manipulation for controlling bulbing in garlic. *Acta Hort.* 555:181-188.
- Rahim, M. A. and R. Fordham. 1991. Effect of shade on leaf and cell size and number of epidermal cells in garlic (*Allium sativum* L.). *Ann. of Botany*. 67:167-171.
- Ramírez, H. 2001. Growth and nutrient absorption of onion (*Allium cepa* L.) in the tropics in response to potassium nutrition. A thesis in partial requirements of the degree of Ph.D. Department of Agricultural Sciences. Imperial College at Wye, London University. 210 p.
- Rosen, C. and C. Tong. 2001. Yield, dry matter partitioning and storage quality of hardneck garlic as affected by soil amendments and scape removal. *HortScience*. 36(7):1235-1239.
- 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. 106 p.
- Seversike, T., L. Purcell, E. Gbur, P. Chen and R. Scott. 2009. Radiation interception and yield response to increased leaflet number in early-maturing soybean genotypes. *Crop Science*. 49:281-289.
- Singh, S. 2015. Planting row arrangement and nutrient management in geranium (*Pelargonium graveolens*) – garlic (*Allium sativum*) intercropping. *Indian J. Agric. Res.* 49(5):407-413.
- Singh, S., M. Ram and N. Yadav. 2014. Effect of phosphorus and zinc application on the growth and yield of geranium (*Pelargonium graveolens*) intercropped with garlic (*Allium sativum*). *Indian J. Agric. Res.* 48(1):1-8.
- Singh, S., B. K. Dubey and R. P. Gupta. 2016. Genotype x environment interaction and stability analysis for yield and its attributes in garlic (*Allium sativum* L.). *Journal of Spices and Aromatic Crops*. 25(2):175-181.
- Shabala, S. 2003. Regulation of potassium transport in leaves: From molecular to tissue level. *Ann. Bot.* 92:627-634.
- Shock, C., E. Feibert and L. Saunders. 2004. Plant population and nitrogen fertilization for subsurface drip-irrigated onion. *HortScience*. 39(7):1722-1727.

Stahlschmidt, O., J. Cavagnaro and R. Borgo. 1997. Growth analysis of three garlic (*Allium sativum* L.) cultivars with differences in yield. Acta Hort. 433:427-434.

Wang, Y. T. 2007. Potassium nutrition affects *Phalaenopsis* growth and flowering. HortScience. 42(7):1563-1567.