

Biomasa, índice de cosecha, rendimiento y radiación interceptada en ajo en función del nitrógeno, en clima templado

Biomass, harvest index, yield and intercepted radiation in garlic as a function of nitrogen, in temperate climate

Bernardo Cárdenas Velázquez¹, José Alberto Salvador Escalante Estrada^{1‡} y María Teresa Rodríguez González¹

¹ Postgrado en Botánica, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo. 56230 Texcoco, Edo. de México, México.

[‡] Autor para correspondencia (jasee@colpos.mx)

RESUMEN

La aplicación de nitrógeno (N) y su efecto en el cultivo de ajo, ha sido objeto de investigaciones en cultivares, condiciones de crecimiento y respuesta variable en el rendimiento. No obstante, el estudio sobre la fenología, radiación interceptada, rendimiento y la eficiencia agronómica del N son limitados y este fue el objetivo del presente trabajo. La investigación fue conducida durante el ciclo otoño-invierno 2016-2017, en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, México (19° 29' N y 98° 53' O y 2250 m de altitud), clima templado y suelo arcillo-limoso; bajo condiciones de riego. La siembra del cultivar criollo "Pata de mula" fue el 24 de octubre de 2016 y la cosecha a los 150 días después de la siembra. El patrón de siembra (arreglo topológico) fue de 15 × 15 cm, que generó una población de 44.3 plantas m⁻². Los tratamientos consistieron en la aplicación 0, 100, 200, 300 kg N ha⁻¹. El diseño experimental fue bloques al azar con cuatro repeticiones. Los resultados indican que el suministro de nitrógeno no afectó los días a ocurrencia de las fases fenológicas, pero ocasionó aumento en la radiación interceptada, el número de dientes, el tamaño del bulbo, el peso de la planta y del bulbo. La distribución de materia seca en la planta y el índice de cosecha no fueron afectados por la aplicación de N. Con N200 y N300 se obtuvo el mayor rendimiento de bulbo. Se considera que 200 kg N ha⁻¹ es

la dosis óptima para el cultivo en la región de estudio, con la cual se obtiene la mayor eficiencia agronómica del nitrógeno.

Palabras clave: *eficiencia agronómica, fenología, longitud del bulbo, peso de bulbo en campo.*

SUMMARY

Application of nitrogen (N) to garlic crops has been the subject of several investigations with different cultivars, growing conditions and variable response in the yield. However, the study on phenology, intercepted radiation, agronomic variables, yield and agronomic efficiency of N are limited, and this was the objective of the present work. The research was conducted during autumn-winter 2016-2017 in the experimental field of the Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, Texcoco, State of Mexico, Mexico (19° 29' N and 98° 53' W and 2250 m of altitude), with a temperate climate and clay-silty soil under irrigation. Sowing of the native cultivar "Pata de mula" was on October 24, 2016 and harvest was 150 days after planting. The sowing pattern (topological arrangement) was 15 × 15 cm. The treatments consisted of the application of 0, 100, 200, 300 kg N ha⁻¹. The experimental design was random blocks with four replications. Results indicate that nitrogen supply did not affect the days to occurrence of phenological phases but caused an increase in the intercepted radiation, number of cloves,

Cita recomendada:

Cárdenas Velázquez, B., J. A. S. Escalante Estrada y M. T. Rodríguez González. 2019. Biomasa, índice de cosecha, rendimiento y radiación interceptada en ajo en función del nitrógeno, en clima templado. *Terra Latinoamericana* 37: 223-230.

DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v37i3.424>

Recibido: 06 de julio de 2018.

Aceptado: 06 de mayo de 2019.

Publicado en *Terra Latinoamericana* 37: 223-230.

bulb size, and plant and bulb weight. Distribution of dry matter in the plant and harvest index were not affected by the application of N. The highest bulb yield was obtained with N200 and N300. It was considered that 200 kg N ha⁻¹ is the optimum dose for the crop in this region with which the highest agronomic efficiency of nitrogen is obtained.

Index words: *agronomic efficiency, bulb length, bulb weight in field, phenology.*

INTRODUCCIÓN

El crecimiento y rendimiento de un cultivo depende en parte del genotipo utilizado y las prácticas de manejo aplicadas (Bloem *et al.*, 2004; Escalante *et al.*, 2016). Dentro de las prácticas agrícolas la fertilización con nitrógeno (N) es determinante en el rendimiento, sobre todo en suelos donde este nutrimento es limitado (Aguilar *et al.*, 2015). En el cultivo de ajo, el estudio de la aplicación con N ha sido objeto de varias investigaciones con diferentes cultivares y condiciones de crecimiento, con respuesta variable en el rendimiento (Lipinski y Gaviola, 2006). Así, Buwalda (1986) estudió niveles entre 0 y 240 kg N ha⁻¹ en el cultivar California tardío y reporta que el mayor rendimiento y calidad se lograron con 120 kg de N ha⁻¹. Sardi y Timár (2005) señalan que el rendimiento de ajo más alto se logró con 300 kg de N ha⁻¹. Por su parte, Gaviola y Lipinski (2008), reportan que el incremento en rendimiento de ajo con N se relaciona con una mayor extracción del nutrimento. Así, un rendimiento de ajo colorado de 10 Mg ha⁻¹, se logra con una extracción de 180 kg N ha⁻¹ a una densidad de población de 17 plantas m⁻². En contraste, un rendimiento de 12 Mg ha⁻¹ de ajo blanco se logra con una extracción de 160 kg de N ha⁻¹. Dichas diferencias pueden estar relacionadas con la eficiencia del uso de este nutrimento. Huez-López *et al.* (2010), al trabajar en ajo cultivar “Tocumbo” bajo riego por goteo en Sonora México, encontraron que el rendimiento más alto (22 Mg ha⁻¹) fue con la aplicación de 180 kg N ha⁻¹. Así mismo, señalan que el peso y tamaño del bulbo presenta cambios significativos con la aplicación de N, pero no el número de dientes. No obstante que existen investigaciones del efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento en ajo, su repercusión sobre la fenología y sus etapas, la radiación interceptada por el cultivo, los componentes del rendimiento y la eficiencia agronómica del N son limitados. Por ello,

el objetivo del estudio fue determinar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la fenología, radiación interceptada, biomasa, rendimiento y sus componentes y eficiencia agronómica del ajo en siembra otoño-invernal en clima templado.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó durante el ciclo otoño-invierno 2016-2017 en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, Texcoco, Edo. de México, México (19° 29' N y 98° 53' O y altitud de 2250 m); bajo condiciones de riego (se aplicaron 12 riegos en total). El clima de acuerdo con la clasificación de Köppen, modificado por García (2005), es Cw, que corresponde al templado con lluvias en verano, una temperatura media anual de 14.6 °C y una precipitación media de 558.5 mm. En los primeros 30 cm de profundidad el suelo presenta textura arcillo-limosa, con pH de 7.6, conductividad eléctrica de 1.9 dS m⁻¹, 3.5% de materia orgánica, N total de 4% y un contenido de N inorgánico de 12 mg kg⁻¹ (determinado por el método Kjeldahl). Como material biológico se empleó del cultivar de ajo criollo denominado “Pata de mula”, que es del tipo violeta, con un ciclo de cultivo corto (150 a 160 días), bajos requerimientos de frío y fotoperiodo, cuello duro y de 8 a 16 bulbillos por bulbo, de acuerdo con los criterios mencionados en Burba (2008) y proveniente de la región de San Gabriel Chilac, Puebla, México. La siembra se realizó el 24 de octubre de 2016, de forma manual depositando un “diente” (bulbillo, estructura que se utiliza como semilla) en posición vertical a 3 cm de profundidad, cuidando que el brote se oriente hacia la superficie terrestre para lograr un mayor porcentaje de emergencia. Enseguida se aplicó un riego de auxilio para inducir a la emergencia de plántulas, en total fueron 12 riegos durante el desarrollo del cultivo. La desinfección de los dientes (semilla agronómica) se hizo con una mezcla de agua y fungicida (cuyo ingrediente activo es tebuconazole) a razón de 2 ml por litro de agua, sumergiéndolos en la solución durante 15 minutos. El patrón de siembra (arregló topológico) fue de 15 × 15 cm entre plantas e hileras. Los tratamientos consistieron en la aplicación a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (dds) de 0, 100, 200, 300 kg N ha⁻¹; la fuente de nitrógeno fue urea (46-00-00). El bulbillo plantado depende para su desarrollo inicial de las reservas contenidas, ya que hasta los 45 días dds inicia la extracción de nutrimentos

del suelo (Ávila, 2007). El diseño experimental fue bloques al azar con cuatro repeticiones, bajo el modelo: $Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$; donde: Y_{ij} es la variable respuesta del i -ésimo nivel de nitrógeno en el j -ésimo bloque; μ es la media general; T_i es el efecto del i -ésimo nivel de nitrógeno; B_j es el efecto del j -ésimo bloque y E_{ij} es el error experimental del i -ésimo nivel de nitrógeno en el j -ésimo bloque. El manejo de la maleza se hizo manual y constante durante el ciclo del cultivo, para evitar la competencia interespecífica. Por ello, la incidencia de plagas y enfermedades fue mínima y no fue necesaria la aplicación de productos químicos. Se registró los días a ocurrencia a etapas fenológicas (García, 1990) como: emergencia, crecimiento vegetativo, inicio de bulbificación y madurez de bulbo (cuando más del 50% de las plantas presentaron coloración amarillenta o café). Dichas etapas son correspondientes con las etapas de crecimiento principal (ECP) 0, 1, 2 y 4, de la escala de tres dígitos, propuesta en López-Bellido *et al.* (2016).

Con la finalidad de conocer las condiciones climáticas durante el desarrollo del cultivo se hizo el monitoreo de la temperatura máxima, mínima, media (promedio decenal) y la precipitación (suma decenal) de datos registrados por la estación agrometeorológica del Colegio de Postgraduados, ubicada en el campus Montecillo. Con los valores de temperatura se calculó la acumulación de unidades calor, determinadas por el método residual (Snyder, 1985), mediante la Ecuación 1:

$$UC = [(T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}})/2] - TB \quad (1)$$

donde: $T_{\text{máx}}$ = temperatura máxima diaria, $T_{\text{mín}}$ = temperatura mínima diaria y TB = temperatura base del cultivo, que para el ajo se consideró como $TB = 0$ °C (Buwalda, 1986).

A los 60, 80, 100 y 120 dds, se determinó la radiación solar, medida cuando el sol se encontraba en el Cenit, con un sensor lineal de quantum modelo L1-19-Licor y la radiación interceptada (%) se calculó mediante la Ecuación 2:

$$\% RI = [(RS - RB)/RS] * 100 \quad (2)$$

dónde: RI = radiación interceptada, RS = radiación sobre el dosel y RB = radiación en la base del dosel.

En la cosecha (150 dds) se registró en $g\ m^{-2}$, la biomasa (peso de la planta, PFP) y el rendimiento de

bulbo (PFB) de campo. El peso de la materia seca de toda la planta y de los bulbos en $g\ m^{-2}$, se obtuvo después de colocar en una estufa de aire forzado (Blue M Electronic Company, Illinois, EUA) el material por 72 h a 80 °C hasta alcanzar el peso constante.

La cosecha se realizó cuando más del 40% de las plantas presentaron una coloración amarillenta o café debido a la senescencia, comprobando además, la rigidez de los bulbos extraídos del suelo y que los dientes estén totalmente formados y ocupen la totalidad del diámetro ecuatorial. Así mismo, se registró la altura de planta (AP), número de hojas (NH), el diámetro ecuatorial (DE, mm), polar (DP, mm) y el número de dientes (ND) por bulbo. Con los datos de materia seca se calculó el índice de cosecha (IC) que indica la cantidad de materia seca acumulada en el órgano de interés agronómico, en relación a la biomasa total (Escalante y Kohashi, 2015), con la siguiente Ecuación 3:

$$IC = PSB (g\ m^{-2})/PSP (g\ m^{-2}) \quad (3)$$

donde: PSB = peso seco del bulbo y PSP = peso seco total de planta.

La eficiencia agronómica del nitrógeno (EAN) se calculó de acuerdo con el planteamiento presentado en Neeraja *et al.* (2001) como el incremento en el rendimiento económico del cultivo por unidad de fertilizante aplicado, de acuerdo a la siguiente Ecuación 4:

$$EAN (kg\ de\ bulbo\ kg\ N^{-1}) = (RcN - RsN)/CN \quad (4)$$

donde: RcN = rendimiento de bulbo con suministro de nitrógeno, RsN = rendimiento de bulbo sin suministro de nitrógeno y CN = cantidad de nitrógeno aplicado ($kg\ N^{-1}$).

A las variables en estudio se les realizó un análisis de varianza y las que resultaron con diferencias significativas, una prueba de comparación de medias de Tukey a un nivel de significancia del 5% de probabilidad de error. Para ello se utilizó el software SAS versión 9.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fenología y Elementos del Clima

En la Figura 1 que presenta los elementos del clima y la fenología durante el desarrollo del ajo. Con respecto

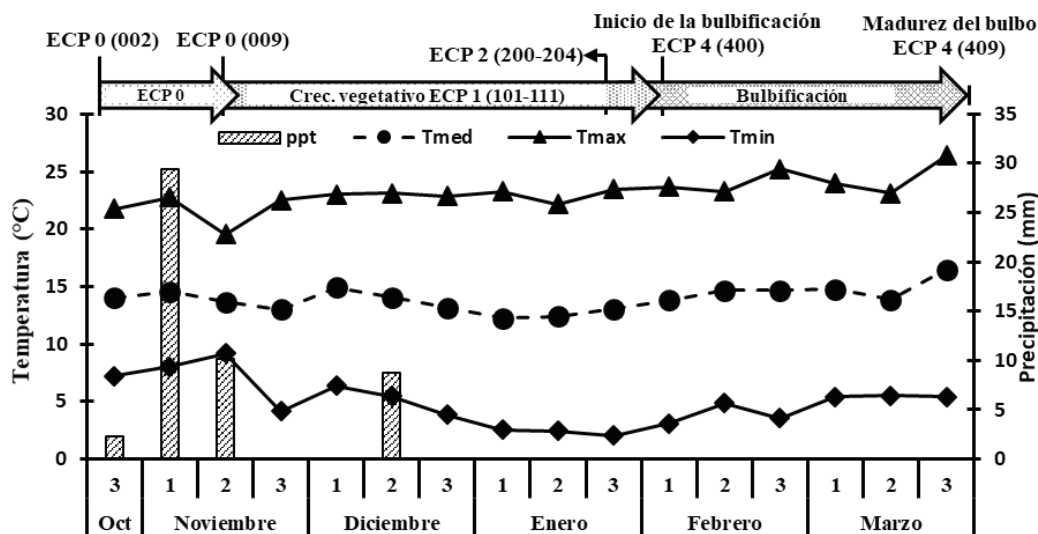


Figura 1. Media decenal de la temperatura (°C) máxima (T_{máx}), media (T media), mínima (T_{mín}), precipitación (suma decenal) y fenología con etapas principales de crecimiento (ECP), durante el ciclo de cultivo de ajo. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. Otoño-primavera 2016-2017.

Figure 1. Ten-year average of the temperature (°C) maximum (T_{máx}), average (mean T), minimum (T_{mín}), precipitation (ten-year sum) and phenology with main stages of growth (ECP) during the garlic cultivation cycle. Montecillo, Texcoco, State of Mexico, Mexico. Fall-spring 2016-2017.

a la fenología se observa que la ECP 0, comprendida en el intervalo de 002 a 009 (punto óptimo para la siembra del bulbillito a la emergencia de la plántula), tuvo una duración de 24 días; la ECP 1 (101-111) que comprende desde el desarrollo foliar, hasta el inicio de la bulbificación, está dado con la formación de brotes laterales en las axilas de las hojas en el tallo verdadero y culmina con el alargamiento y engrosamiento de éstas ECP 2 (200-204); finalmente la ECP 4 que comprende la diferenciación visual de los brotes laterales hasta el máximo crecimiento del bulbo 400 a 409, según la escala de tres dígitos que se describe en López-Bellido *et al.* (2016). En lo referente a los elementos del clima: la temperatura media durante el ciclo fue de 15 °C, con una T_{mín} durante el crecimiento vegetativo de 2 a 6.4 °C. Yuste (1997) indica que el punto de congelación está por debajo de -5 °C; la T_{máx} osciló entre 19 y 26 °C. Ruiz *et al.* (2013) mencionan que la temperatura óptima para el crecimiento en etapas tempranas es de entre 4-8 °C, posteriormente durante el crecimiento del bulbo debe ser entre 18-20 °C, para lograr rendimiento alto; la temperatura máxima no debe ser superior a 30 °C. El termoperíodo durante el ciclo de ajo es determinante, ya que para inducir la bulbificación se requiere de la combinación de bajas temperaturas al inicio de ciclo, con la reducción gradual

de días largos, siendo la temperatura más importante que el fotoperíodo ya que la temperatura impacta directamente en el rendimiento. Las temperaturas por debajo o por encima de las óptimas tendrán efecto en los días a ocurrencia de las etapas fenológicas, ya sea retrasándolas o acortándolas; también sobre la velocidad de crecimiento del bulbo, su forma y tamaño (Ávila, 2007). Cabe resaltar que durante el estudio se presentaron temperaturas similares a las óptimas durante las etapas fenológicas del cultivo. La precipitación acumulada durante el experimento fue de 51 mm y ocurrió al inicio del periodo vegetativo, por ello fue muy importante la aplicación de 12 riegos durante el ciclo del cultivo, para evitar reducción del rendimiento debido a condiciones limitantes en el suministro de agua.

Radiación Interceptada

La radiación interceptada (RI, %) y la eficiencia con la que se utiliza, son determinantes para el rendimiento de *Allium* (Brewster, 2008). En la Figura 2 se observa que la cantidad de RI se incrementó conforme avanzó el desarrollo del ajo. La aplicación de N ocasionó incremento en la RI, lo que indica un estímulo en el tamaño del dosel. Así mismo, la mayor cobertura

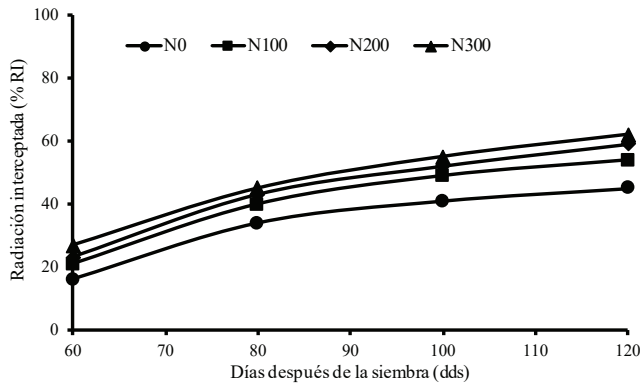


Figura 2. Dinámica de radiación interceptada (RI%) en el cultivo de ajo (*Allium sativum* L.). Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. Otoño–primavera 2016-2017. N0 = testigo (sin aplicación de N); N100; N200 y N300 es la aplicación de 100, 200 y 300 kg de N ha⁻¹, respectivamente.

Figure 2. Intercepted radiation dynamics (RI%) in the cultivation of garlic (*Allium sativum* L.). Montecillo, Texcoco, State of Mexico, Mexico. Fall-spring 2016-2017. N0 = control (without application of N); N100; N200 and N300 is the application of 100, 200 and 300 kg of N ha⁻¹, respectively.

del dosel vegetal se logró de los 100 a los 120 dds. Con 200 y 300 kg N ha⁻¹ se encontró la RI más alta (59 y 62%, respectivamente), seguido de 100 kg N ha⁻¹ con 45%. El testigo presentó 35% de RI.

Unidades Calor

La relación entre la acumulación de calor y la ocurrencia de las etapas fenológicas respecto a los días después de la siembra, se muestran en la Figura 3. El calor acumulado durante el ciclo del cultivo fue de 2097 °C, distribuido en las diferentes etapas fenológicas. De siembra a cosecha la relación entre la acumulación de calor y los dds, se ajustó a un modelo lineal: UC (°C día) = 61.44 + 13.4 dds con R² = 0.99, que indica que para cada día de desarrollo la acumulación de calor fue de 13.4 °C.

Rendimiento y Variables Agronómicas

En el Cuadro 1, que presenta el efecto del N sobre la AP, NH, DP y DE se observa que a excepción del NH, la AP, DP y DH se incrementaron con el suministro de N. Los valores más altos se observaron con la aplicación de 300 kg de N ha⁻¹. Mientras que el testigo (sin fertilización con N) presentó los valores más bajos. Asimismo, con la fertilización nitrogenada varió el tamaño de bulbo. De acuerdo a la escala de bulbos del Departamento de Agricultura de EUA (Heredia y Delgadillo, 2000): el testigo fue mayor a 44 mm (considerado como gigante), con 100 y

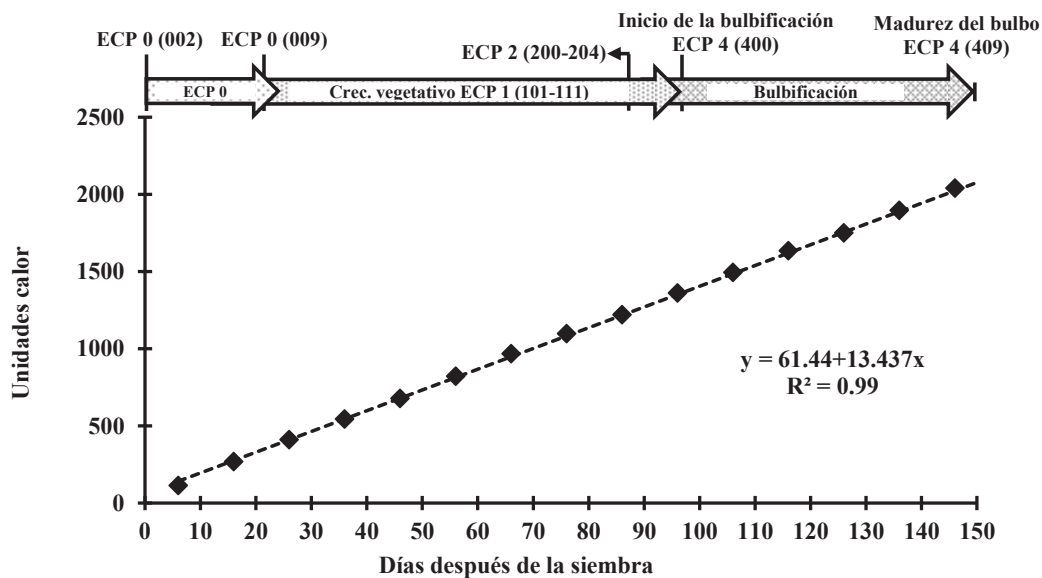


Figura 3. Relación entre unidades calor (°C d) y la fenología en el cultivo de ajo. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. Otoño-primavera 2016-2017. ECP = etapa de crecimiento principal.

Figure 3. Relationship between heat units (°C d) and garlic phenology. Montecillo, Texcoco, State of Mexico, Mexico. Fall-spring 2016-2017. ECP = main growth stage.

Cuadro 1. Variables morfológicas de ajo cultivado con suministro de nitrógeno. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. Otoño-primavera 2016-2017.**Table 1. Morphological variables of garlic grown with nitrogen supply. Montecillo, Texcoco, State of Mexico, Mexico. Fall-spring 2016-2017.**

Nitrógeno	AP	NH	DP	DE	ND
kg N ha ⁻¹	cm		mm		m ²
0	57.4 c	9.6 a	39 c	46.5 c	276 b
100	63.7 bc	9.1 a	42.4 b	53.4 bc	287 b
200	64.5 ab	9.9 a	44 ab	56.2 ab	314 ab
300	70.5 a	9.3 a	46.4 a	58.8 a	380 a
Media general	64	9.5	42.9	54.7	314
Probabilidad de F	**	NS	**	**	*
Tukey 0.05	6.6	2.9	3	3.6	70.7

Valores con letra similar son estadísticamente iguales según Tukey = 0.05%. AP = altura de la planta; NH = número de hojas; DP = diámetro polar; DE = diámetro ecuatorial; ND = número de dientes. * = $P \leq 0.5$; ** = $P \leq 0.01$; NS = diferencias no significativas.

Values with the same letter are statistically equal according to Tukey = 0.05%. AP = height of the plant; NH = number of leaves; DP = polar diameter; DE = equatorial diameter; ND = number of coves. * = $P \leq 0.5$; ** = $P \leq 0.01$; NS = non-significant differences.

200 kg de N ha⁻¹ fue mayor a 51 mm (extragigante) y con 300 kg de N ha⁻¹ fue mayor a 57 mm (jumbo). Con respecto a la NMX-FF-018-SCFI-2006, los calibres fueron de: 6, 7, 8 y 9 para el testigo (sin fertilización), 100, 200 y 300 kg de N ha⁻¹, respectivamente. Así mismo, el número de dientes por bulbo (ND) presentó una tendencia similar. Esto indica que con la aplicación de fertilizante nitrogenado puede incrementarse el rendimiento de bulbo al tener plantas de mayor tamaño, mayor número de dientes por bulbo y en consecuencia mayor tamaño de bulbo.

Peso Fresco de Planta (PFP), Peso Seco de Planta (PSP), Peso Fresco de Bulbo (PFB) y Peso Seco de Bulbo (PSB)

En el Cuadro 2, se puede apreciar que el rendimiento de campo representado aquí por el PFP y PFB, así como el PSP y PSB mostraron cambios significativos por efecto de tratamientos. El PFP y PFB (rendimiento de campo) más alto con 3367 y 1903 g m⁻² respectivamente, fue superior en 64 y 56% al testigo; en 29 y 24% con 100 kg de N ha⁻¹ y en 11

Cuadro 2. Peso fresco y seco de las variables agronómicas del cultivo de ajo con suministro variable de nitrógeno. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. Otoño-primavera 2016-2017.**Table 2. Fresh and dry weight of the agronomic variables of the garlic crop with variable nitrogen supply. Montecillo, Texcoco, State of Mexico, Mexico. Fall-spring 2016-2017.**

Nitrógeno	PFP	PSP	PFH	PSH	PFB	PSB
kg N ha ⁻¹						
0	2058 c	543 b	804 b	180 b	1216 c	359 c
100	2614 bc	686 ab	1016 ab	225 ab	1534 b	457 b
200	3023 ab	774 a	1152 ab	239 ab	1816 a	531 ab
300	3367 a	833 a	1347 a	275 a	1903 a	553 a
Media general	2777	716	1079	229.6	1678.3	471
Probabilidad de F	**	**	*	*	**	**
Tukey 0.05	643.3	101.5	438.2	89.5	238.3	90.3

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales según Tukey = 0.05%. PFP = peso fresco de planta; PSP = peso seco de la planta; PFH = peso fresco de hojas; PSH = peso seco de hojas; PFB = peso fresco de bulbo; PSB = peso seco de bulbo. * = $P \leq 0.5$; ** = $P \leq 0.01$; NS = diferencias no significativas.

Values with the same letter are statistically the same according to Tukey = 0.05%. PFP = plant fresh weight; PSP = plant dry weight; PFH = leaf fresh weight; PSH = leaf dry weight; PFB = bulb fresh weight; PSB = bulb dry weight. * = $P \leq 0.5$; ** = $P \leq 0.01$; NS = non-significant differences.

y 5% al cultivo con 200 kg de N ha⁻¹ respectivamente. Tendencias semejantes se observaron para el peso de la materia seca. De igual forma para el PFH y PSH se encontró que con el nivel más elevado de N produce más área verde (láminas foliares y vaina), que se refleja en mayor RI. Resultados similares para ajo tipo colorado, con suministro 100 kg N ha⁻¹, han sido reportados por Saluzzo (2003).

En cuanto a la distribución de materia seca en la planta presentada en la Figura 4, se observa que la aplicación de N no ocasionó cambios significativos en la distribución. Así, la distribución de materia seca osciló entre 66 a 69% en el bulbo (IC) y 31 a 34% en la hoja. El índice de cosecha (IC) de 68% del presente estudio fue inferior al reportado para la misma región y cultivar por Cárdenas *et al.* (2017) con 70-78%. Esta respuesta puede estar relacionada con diferentes condiciones de manejo del cultivo como la densidad de población y época de siembra.

La respuesta en rendimiento de bulbo o peso de campo (PFB) a la aplicación de N, mostró una tendencia que responde a un polinomio de segundo grado o cuadrática ($Y = a + bx + cx^2$) con un R² de 0.99, lo que indica que el modelo es apropiado para estimar el rendimiento de ajo en función del suministro de nitrógeno (Figura 5). La curva indica un incremento de 3.2 g m⁻² cuando se aplica 100 kg de N ha⁻¹ en relación al testigo. De 100 a 200 kg de N ha⁻¹ dicho incremento es de 2.8 g m⁻² y de 200 a 300 kg de N ha⁻¹ es de 0.9 g m⁻².

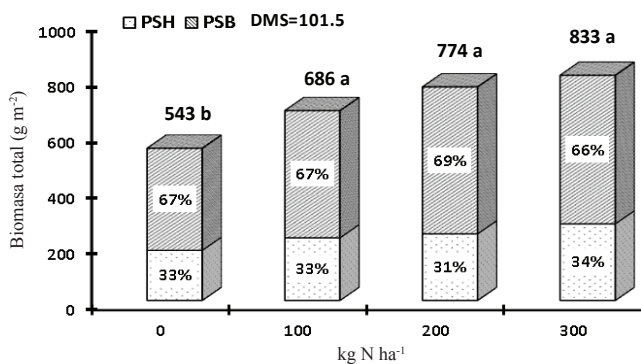


Figura 4. Distribución de materia seca e índice de cosecha en el cultivo de ajo en función del suministro de nitrógeno. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. Otoño-primavera 2016-2017.

Figure 4. Dry matter distribution and harvest index in garlic crop in function of nitrogen supply. Montecillo, Texcoco, State of Mexico, Mexico. Fall-spring 2016-2017.

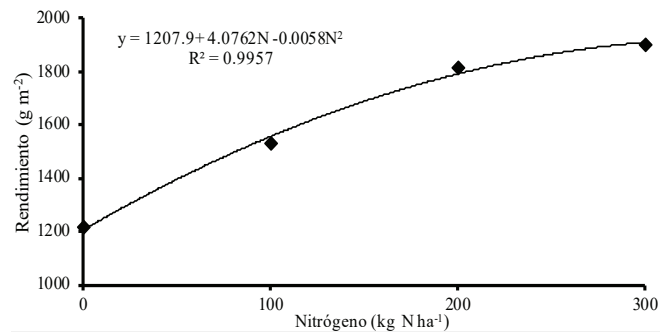


Figura 5. Peso fresco o rendimiento de bulbo (PFB o RB) de ajo en función del suministro de nitrógeno. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. Otoño-primavera 2016-2017.

Figure 5. Fresh weight or bulb yield (PFB or RB) of garlic in function of the nitrogen supply. Montecillo, Texcoco, State of Mexico, Mexico. Fall-spring 2016-2017.

De acuerdo con el método gráfico, la dosis óptima de N para un rendimiento de ajo de 18.2 Mg ha⁻¹, sería 200 kg de N ha⁻¹ debido a que después de este nivel de N, el incremento en peso de bulbo es mínimo e implica un costo elevado en la producción al adicionar 100 unidades de N más. Asimismo, esto está sustentado con la eficiencia agronómica del N más alta lograda con 200 kg de N ha⁻¹ (Cuadro 3). Respuestas semejantes han reportado Saluzzo (2003) con riego rodado y Gaviola y Lipinski (2002) con riego por goteo. Por su parte, Díaz de León *et al.* (2008) recomiendan 300 kg de N para obtener un rendimiento de 15 Mg ha⁻¹ con riego rodado en El Bajío, el cual es inferior al logrado con dicha dosis en el presente estudio (19 Mg ha⁻¹).

Cuadro 3. Eficiencia agronómica del nitrógeno en ajo. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. Otoño-primavera 2016-2017.

Table 3. Agronomic efficiency of nitrogen in garlic. Montecillo, Texcoco, State of Mexico, Mexico. Fall-spring 2016-2017.

RcN	RsN	CN	EAN
----- g m ⁻² ----- kg N ha ⁻¹ kg de bulbo / kg N aplicado			
1534	1216	100	31.8 a
1816	1216	200	30 a
1903	1216	300	22.9 b

RcN = rendimiento de bulbo con aplicación de nitrógeno; RsN = rendimiento de bulbo sin aplicación de nitrógeno; CN = cantidad de nitrógeno aplicado; EAN = eficiencia agronómica del nitrógeno.

RcN = bulb yield with nitrogen application; RsN = bulb yield without nitrogen application; CN = amount of applied nitrogen; EAN = agronomic efficiency of nitrogen.

CONCLUSIONES

- Los días a ocurrencia de fases fenológicas no son afectados por el suministro de nitrógeno.
- El suministro de N aumenta la radiación interceptada por el cultivo, el peso de la planta, el tamaño del bulbo y el número de dientes en ajo. La distribución de materia seca en la planta y el índice de cosecha no fueron afectados.
- Con N200 y N300 se obtuvo el mayor rendimiento de bulbo. Se considera que 200 kg N ha⁻¹ es la dosis óptima para el cultivo en esta región, con la cual se obtiene la mayor eficiencia agronómica del nitrógeno.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a CONACYT el apoyo brindado a través de una beca para estudios de postgrado, otorgada a Bernardo Cárdenas Velázquez con número de becario 428437.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Carpio, C., J. A. S. Escalante-Estrada e I. Aguilar-Mariscal. 2015. Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima cálido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno. *Terra Latinoamericana* 33: 1-12.
- Ávila, G. T. 2007. Factores de manejo del cultivo de ajo (*Allium sativum* L.) que determinan la calidad del producto a la cosecha. *Avan. Hortic.* 5: 1-13.
- Bloem, E., S. Haneklaus, and E. Schung. 2004. Influence of nitrogen and sulfur fertilization on the alliin content of onions and garlic. *J. Plant Nutr.* 27: 1827-1839. doi: 10.1081/LPLA-200026433.
- Brewster, J. L. 2008. Onions and other vegetable alliums. CABI North American Office. Cambridge, MA, USA. ISBN 978-1-84593-399-9.
- Burba, J. L. 2008. Los grupos varietales del ajo (*Allium sativum* L.). Contribución para su entendimiento. *Hortic. Argentina* 27: 20-27.
- Buwalda, J. G. 1986. Nitrogen nutrition of garlic (*Allium sativum* L.) under irrigation. Crop growth and development. *Sci. Hortic.* 29: 55-68. doi: 10.1016/0304-4238(86)90031-2.
- Cárdenas-Velázquez, B., J. A. S. Escalante-Estrada y M. T. Rodríguez González. 2017. Análisis de crecimiento y rendimiento de ajo en función de la densidad de población. pp. 961-966. *In: Congreso Internacional de Investigación. Compendio Investigativo de Academia Journals Celaya 2017. Tomo 5. Celaya, Guanajuato, México. ISBN- Online: 978-1-939982-32-2.*
- Díaz de León T., J. G., C. Mejía-Ávila y B. Hurtado-García. 2008. Recomendaciones de fertilización para la mejora de la nutrición. Ajo. Guía técnica. Fundación Guanajuato Produce, AC. INIFAP, CE-Bajío. Celaya, Gto., México.
- Escalante-Estrada, J. A. S. y J. Kohashi-Shibata. 2015. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. México, D. F. ISBN: 9688391085.
- Escalante-Estrada, J. A. S., M. T. Rodríguez-González y Y. I. Escalante-Estrada. 2016. Rendimiento, eficiencia en uso del agua en canola en función del nitrógeno y distancia entre hileras. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7: 1249-1259.
- García A., C. R. 1990. El ajo: su cultivo y aprovechamiento. Mundi Prensa. España. ISBN: 84-7114-301-1.
- García E. 2005. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F., México.
- 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: 67-75. doi: 10.7764/rcia.v35i1.373.
- Gaviola, S. y V. Lipinski. 2002. Diagnóstico rápido de nitrato en ajo cv. Fuego-INTA con riego por goteo. *Cienc. Suelo* 20: 43-49.
- Heredia García, E. y F. Delgadillo Sánchez. 2000. El ajo en México: origen, mejoramiento genético y tecnología de producción. Campo Experimental Bajío. SAGARPA. INIFAP. Celaya, Guanajuato, México.
- Huez-López, M. A., J. López-E., J. Jiménez-L., S. Garza-Ortega, F. A. Preciado-F., A. Álvarez-A. P. Valenzuela-C. y J. Rodríguez-C. 2010. Fertilización nitrogenada en el cultivo de ajo (*Allium sativum* L.) bajo riego por goteo en la costa de Hermosillo. *Biotecnia* 12: 23-31. doi: 10.18633/bt.v12i3.101.
- Lipinski, V. M. y S. Gaviola, 2006. Evaluación del rendimiento y calidad de cultivares de ajo colorado fertirrigados con nitrógeno. *Rev. FCA UNCuyo* 38: 37-48.
- López-Bellido, F. J., R. J. López-Bellido, V. Muños-Romero, P. Fernández-García y L. López-Bellido. 2016. New phenological growth stages of garlic. *Ann. Appl. Biol.* 169: 423-439. doi: 10.1111/aab.12312.
- Neeraja, G., K. M. Reddy, M. S. Reddy, and V. P. Rao. 2001. Influence of irrigation and nitrogen levels on bulb yield, nutrient uptake and nitrogen use efficiencies in rabi onion (*Allium cepa* L.). *Indian J. Agric. Sci.* 71: 109-112.
- Ruiz C., J. A., G. Medina G., I. J. González A., H. E. Flores L., G. Ramírez O., C. Ortiz T., K. F. Byerly M. y R. A. Martínez P. 2013. Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatlán de Morelos, Jalisco, México. 564 p. ISBN: 978-607-37-0188-4.
- Saluzzo, J. A. 2003. Nutrición nitrogenada, crecimiento y rendimiento de ajo (*Allium sativum* L.) en respuesta a la fertilización nitrogenada en el SE de Buenos Aires, Argentina. *Agriscientia* 20: 53-60. doi: 10.31047/1668.298x.v20.n0.2831.
- Sardi, K. and E. Timár. 2005. Response of garlic (*Allium sativum* L.) to varying fertilization levels and nutrient ratios. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 36: 673-679. doi: 10.1081/CSS-200043326.
- Snyder, R. L. 1985. Hand calculating degree days. *Agric. For. Meteorol.* 35: 353-358. doi: 10.1016/0168-1923(85)90095-4.
- Yuste P., M. P. 1997. Horticultura, cultivo en invernadero. pp. 531-768. *In: M. P. Yuste Pérez y J. Gostincar i Turon (eds.). Biblioteca de la agricultura. Idea Books. Barcelona, España. ISBN: 84-8236-089-2.*