

## Efecto de tamaño del bulbo/bulbillo y densidad de plantación en la emergencia, rendimiento y calidad de ajo (*Allium sativum* L.)

Effect of propagule size and plant density on seedling emergence, yield and quality of garlic (*Allium sativum* L.)

Jiménez-Vázquez P<sup>1</sup>, JA Rangel-Lucio<sup>2</sup>, M Mendoza-Elos<sup>1</sup>, F Cervantes-Ortíz<sup>1</sup>, JG Rivera-Reyes<sup>1</sup>

**Resumen.** La producción de bulbos y la calidad del ajo (*Allium sativum* L.) dependen del manejo agronómico y calidad fisiológica y sanitaria del bulbo/bulbillo utilizado en la plantación, y de la disponibilidad de recursos económicos. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del tamaño del bulbo y bulbillo (o diente) y la densidad de población de plantas en la emergencia de plántulas, rendimiento y calidad de bulbo de ajo tipo Taiwán. La selección de bulbos y bulbillos de tres tamaños se hizo a partir de bulbos con calidad Extra Flor, Gigante y Jumbo. Los bulbillos fueron plantados en tres densidades: 333000, 285710 y 250000 plantas/ha, bajo el esquema de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas. Durante el ensayo se evaluaron el porcentaje de emergencia, y después de la cosecha, el rendimiento de bulbo y calidad de bulbo por tamaño. La densidad de plantas afectó significativamente el rendimiento de bulbo de ajo. Al aumentar el tamaño de los bulbos, hubo una mayor emergencia de plántulas y calidad de bulbos y bulbillos a bajas densidades. El efecto de bulbos grandes o medianos se reflejó a partir de los 16 días de la emergencia; con los bulbos y bulbillos se obtuvo el rendimiento máximo de bulbo (15,5 t/ha) y mejor calidad de bulbo (15,8 t/ha), como Jumbo y Super Jumbo. Los bulbos Extra Gigante aportaron la mayor proporción a la calidad de bulbo por tamaño (15,5 kg/ha), en densidades alta y media de población. Sin embargo, la mejor calidad de bulbos Extra Gigante, Jumbo y Super Jumbo dependieron de la menor densidad de plantas, bulbos grandes y bulbillos grandes o medianos.

**Palabras clave:** Densidad de plantas; Calibre de bulbo; Tamaño de bulbillo; Diente de ajo; Componente del rendimiento.

**Abstract.** The production and quality of garlic (*Allium sativum* L.) depend on agronomics management, physiological and sanitary characteristics of bulbs or bulbils used at sowing, and economic resources. The objective of this assay was to evaluate the effects of garlic bulb and bulbil sizes, and of plant density, on seedling emergence, and garlic bulb yield and quality cv. Taiwan. The garlic bulbs and bulbils classified and selected by size were made from Extra Flor, Gigante and Jumbo garlic bulbs. They were sown at three plant densities (333000, 285710 and 250000 plants/ha) in a split plot experimental design. During garlic growth, the percentage of emergence, garlic bulb yield and garlic quality (measured by bulb size) were evaluated. Plant density affected garlic bulb yield significantly. There was greater seedling emergence and quality of bulbs and bulbils when bulb size increased, at the lowest densities. The effects of large or middle size garlic bulbs occurred at 16 days from seedlings emergence. Largest bulb and bulbil sizes increased garlic bulb yield (15.5 t/ha) and quality (15.8 t/ha), as Jumbo or Super Jumbo garlic bulb size. The Extra Gigante garlic bulbs relatively contributed the most to garlic bulb quality by size (15.5 t/ha) to medium and high population densities. However, the best quality of the bulbs Extra Gigante, Jumbo or Super Jumbo depended on the lower plant density, large bulbs, and large or middle bulbil size.

**Keywords:** Plant density; Bulb bore; Bulbil size; Garlic cloves; Yield components.

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico de Roque. Km 8 Carretera Celaya-Juventino Rosas. Celaya, Guanajuato, México. C.P. 38110.

<sup>2</sup> Instituto Tecnológico de Victoria. Boulevard Emilio Portes Gil No. 1301. Cd. Victoria, Tamaulipas, México. C.P. 87010.

Address Correspondence to: José Antonio Rangel Lucio. Instituto Tecnológico de Victoria, e-mail: anrangel@itroque.edu.mx

Recibido / Received 11.IV.2013. Aceptado / Accepted 15.VII.2013.

## INTRODUCCIÓN

El ajo (*Allium sativum* L.) tiene el segundo nivel en importancia agroeconómica del género *Allium*, y cuarto entre las hortalizas de mayor comercialización mundial junto a la cebolla (*Allium cepa* L.) y el puerro (*Allium ampeloprasum* L.), después del tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.), el pimiento (*Capsicum annuum* L.) y las leguminosas secas (Ferrato y Mondino, 2008). En el contexto mundial, se producen 12 millones de toneladas de ajo, con un rendimiento promedio cercano a 11 t/ha; el continente asiático, encabezado por China, India y Corea, domina tanto en la superficie ocupada (81%) como en la producción (86%) de este cultivo (FAOSTAT, 2011). Para el ciclo de cultivo 2012-2013, se estimó que México alcanzaría una producción de ajo de poco más de 55 mil toneladas y un rendimiento promedio de casi 11 t/ha, en una superficie de 5000 ha; la mayor rentabilidad se esperó en Aguascalientes (13,3 t/ha), Zacatecas, Baja California Norte y Guanajuato (9,5 t/ha) con 1366 ha sembradas (SIAP, 2012).

El ajo es diploide, tiene apomixis estricta y se propaga vegetativamente por bulbillos (Ipek et al., 2005), por lo cual, los cultivares muestran escasa variabilidad genética, aunque difieren en fenotipo (Pardo y Marín, 2003) y rendimiento (Pérez et al., 2003). La esterilidad de la semilla, según Figliuolo et al. (2001), ha retrasado el mejoramiento de ajo en cuanto a caracteres morfológicos (altura de planta, color y tamaño de bulbo y bulbillo) y agronómicos (adaptación, período a floración de ciertos clones, duración del ciclo vegetativo, respuesta a latencia). Es decir, predomina la selección, sin descartar la variabilidad genética, y posiblemente de tipo somática, entre poblaciones (Heredia, 1997). Por ello, para establecer el cultivo de ajo se requiere una selección cuidadosa de bulbos y bulbillos, ya que el tamaño de ambos afecta el rendimiento y la calidad del producto cosechado.

El bulbo que se utiliza como propágulo o semilla para plantación debe ser genéticamente puro, sano y bien formado, con buen vigor, y de tamaño grande o de mayor diámetro (Burba, 1997b). Esto contribuye a asegurar un cultivo sano, con mayor calidad y potencial de rendimiento (Burba, 1997c). En la costa de Hermosillo, Sonora, México, el bulbillo adecuado para siembra pesa entre 4,0 y 4,5 g (Huez et al., 2010), mientras que en Guanajuato se toma el tamaño de bulbillo como criterio morfológico para la plantación [grandes (>50,1 mm), medianos (37,6 a 50,0 mm) o si se requiere, pequeños (25 a 37,5 mm)]. En este último estado se sugiere usar de 1,5 a 2,5 t de bulbillo para plantar en forma mecánica en surcos de 1 m de ancho con dos hileras separadas a 0,30 m, y tener 500000 plantas/ha; para la plantación manual, se requieren surcos de 0,92 m de ancho con hileras de 0,25 m de separación, 0,07 m de distancia entre plantas y 0,5 a 1 t/ha de bulbillo, para tener 250000 a 300000 plantas/ha (Heredia y Heredia, 2000). Es decir, la densidad de población en el cultivo de ajo varía de acuerdo con el genotipo, método de plantación, ancho de

surcos, distancia entre hileras y plantas, tamaño de bulbillo y destino del producto (Burba, 1997b; Walker, 2011).

En la región de El Bajío, particularmente en el estado de Guanajuato, se usa el ajo tipo Taiwán, caracterizado por mostrar altura de 0,50 m, hojas anchas, bulbos de casi 0,07 m de diámetro y ciclo vegetativo de 195 días; generalmente produce 12 bulbillos por bulbo y alcanza hasta 25 t/ha (Heredia y Heredia, 2000). En esta zona, el rendimiento potencial de ajo podría ser superior; sin embargo, el rendimiento actual es de 9,05 t/ha (Pérez et al., 2008). Esto es debido a limitaciones tecnológicas como la falta de semilla con calidad dada por deficiencias en la selección de tamaño y peso de bulbillos, así como imprecisiones en la densidad y método de siembra, daño sanitario del cultivo y una falta generalizada de equipo agrícola apropiado, tanto para el implante como para la cosecha. Por ello, para intentar resolver parte de esta problemática que conlleva el cultivo de ajo, se desarrolló este estudio que tuvo por objetivo evaluar el efecto del tamaño de bulbo y bulbillo y la densidad de plantación, en el rendimiento y calidad de ajo tipo Taiwán. La hipótesis de trabajo fue que el tamaño de los propágulos de ajo plantados a baja densidad por productores en El Bajío de Guanajuato determina un mayor rendimiento y calidad de bulbo cosechado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el ciclo agrícola 2011-2012, en Celaya, Guanajuato, México, y comprendió dos etapas: (1) la plantación en el terreno (15 de agosto), que se llevó a cabo en el Campo Experimental Bajío del INIFAP (20° 15' N, 101° 39' O, 1765 m.s.n.m.), en un suelo tipo Vertisol Pélico, y (2) los trabajos de poscosecha, que se desarrollaron en el Laboratorio de Análisis de Semillas del Instituto Tecnológico de Roque.

El ajo tipo Taiwán variedad Tacatzcuaro Especial tiene ciclo y fotoperíodo largo, y una alta demanda de frío. Para facilitar el procedimiento administrativo, los exportadores de ajo mexicano utilizan la escala de tamaños de bulbo del Departamento de Agricultura de EE.UU. (Heredia, 2000): Flor (25 mm); Extra Flor (38 mm), Gigante (44 mm); Extra Gigante (51 mm); Jumbo (57 mm); Super Jumbo (63 mm), Colosal (70 mm) y Super Colosal (>70 mm). En el ensayo se seleccionaron 25 bulbos por cada tamaño Extra Flor, Gigante y Extra Gigante, de la variedad de ajo indicada. Seguidamente, los bulbos fueron pesados, y una vez "desgranados", los bulbillos se clasificaron por tamaño con una zaranda en chicos, medianos y grandes, y finalmente se pesaron (Tabla 1).

Después de clasificados, los bulbillos se sometieron a un tratamiento sanitario preventivo. Con este motivo, se colocaron en bolsas de tela de manta, y sumergieron por 120 min en una solución compuesta por 200 L de agua, 1 L de Nema-cur (*i.a.* 38,8% de Fenamifos), 1 L de Arasan (Tiram 50% WP), 1

**Tabla 1.** Clasificación y tamaño de bulbos y bulbillos de ajo. Celaya, Guanajuato, México. 2011-2012.

**Table 1.** Classification and size of garlic bulbs and bulbils. Celaya, Guanajuato, México. 2011-2012.

Clasificación	Bulbos		Bulbillos	
	Tamaño (mm)	Categoría	Peso (g)	Categoría
Extra Flor	38-43,9	Chico	2,0-2,4	Chico
			2,5-3,9	Mediano
			4,0-4,7	Grande
Gigante	44-50,9	Mediano	2,9-4,4	Chico
			4,5-5,2	Mediano
			5,3-5,8	Grande
Extra Gigante	51-62,9	Grande	2,5-4,3	Chico
			4,4-6,4	Mediano
			6,5-7,2	Grande

kg de Metacaptán (*i.a.* 650 g/kg Captán; 100 g de *i.a.*/kg Metoxicloro), 0,5 kg de Benlate (Benomilo 50% WP) y 250 mL de adherente. Finalmente, los bulbillos se secaron a la sombra por 1 h y se sembraron.

Las densidades de población evaluadas fueron 333000, 285710 y 250000 plantas/ha, de manera que la distancia entre plantas fue de 6 ( $D_6$ ), 7 ( $D_7$ ) y 8 cm ( $D_8$ ). La siembra fue manual, en dos hileras distanciadas 0,25 m sobre el surco; para esto, el bulbillo se plantó verticalmente, a una profundidad aproximada de 0,05 m.

El cultivo se fertilizó inorgánicamente con la fórmula 300-100-80 + 50 Fe + 35 Zn: a) al suelo y en la plantación, 92 unidades de fósforo (Superfosfato de Calcio Triple), todo Fe (Sulfato de Hierro) y Zn (Sulfato de Zinc); y b) en fertirriego se incorporaron 150, 100 y 50 unidades de fosfonitrato [25, 55 y 85 días después de la plantación (dpp), respectivamente], 8 unidades de fósforo (Ácido Fosfórico; 85 ddp), así como 35 y 45 unidades de potasio (Sulfato de Potasio) a los 85 y 115 ddp, en un consumo de 1,0 L/h por emisor. El primer riego por gravedad se hizo con la plantación y fertilización química de fondo al suelo; el segundo riego se suministró 10 días después para remover la costra arcillosa del suelo y facilitar la emergencia de plántulas. Hubo cuatro riegos adicionales al suelo y se suspendieron 20 días antes de la cosecha. A los 40, 55 y 70 ddp, se hizo control químico de ácaros y hongos con 50000 unidades/litro de Vektor (insecticida biológico) y 0,5 L/ha de Folicur 25% (*i.a.* 250 g/L Tebuconazol), respectivamente. Las malezas se controlaron manual y mecánicamente con tres aporques durante el ciclo del ajo. Los tratamientos se repitieron cuatro veces en un diseño experimental de bloques al azar (dos densidades de plantación, tres tamaños de bulbo, tres tamaños de bulbillo) con arreglo en parcelas divididas: en la parcela grande se asignó la densidad de plantación, en la mediana el tamaño de bulbo y

en la chica al bulbillo. La parcela experimental tuvo dos surcos de 5 m de longitud y 0,92 m de ancho. El registro de datos se hizo en la parcela útil de 7,36 m<sup>2</sup> centrales. El porcentaje de emergencia fue evaluado a los 9, 16, 23 y 30 ddp; el rendimiento total, descarte y calibración por tamaño con porcentaje en cada tratamiento fueron efectuados después de la cosecha, ocurrida el 26 de febrero de 2012. Se realizó un análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey ( $\alpha \leq 0,05$ ), y contrastes ortogonales (Petersen, 1994), con el paquete SAS ver. 9,0 (SAS, 2002). Los contrastes (Tabla 2) se plantearon con base en: a) la menor densidad de siembra (250000 plantas/ha) que disminuye costos de inversión, pero también rendimiento y calidad de bulbo (contraste 1); b) los bulbos de tamaño grande, que forman bulbos y bulbillos de mayor tamaño y promueven mayor rendimiento y calidad de bulbo (contraste 3); c) en la preferencia del productor por los bulbillos grandes para plantar (contraste 5); y (d) la densidad media de población (285710 plantas/ha). Bulbos y bulbillos de tamaño medio fueron testigos referenciales respecto a la densidad de siembra mayor (333000 plantas/ha), y tamaños chicos de bulbo y de bulbillo plantados (contrastos 2, 4, 6).

**Tabla 2.** Contrastos ortogonales diseñados para el estudio de ajo. Celaya, Guanajuato, México. 2011-2012.

**Table 2.** Orthogonals contrast designed for the garlic study. Celaya, Guanajuato, México. 2011-2012.

No.	Contraste
1	+2 -1 -1 [ $D_8$ vs ( $D_6 + D_7$ )]
2	+1 -1 [ $D_7$ vs $D_6$ ]
3	+2 -1 -1 [ $B_g$ vs ( $B_c + B_m$ )]
4	+1 -1 [ $B_m$ vs $B_c$ ]
5	+2 -1 -1 [ $B_{bg}$ vs ( $B_{bc} + B_{bm}$ )]
6	+1 -1 [ $B_{bm}$ vs $B_{bc}$ ]

D: Distancia entre plantas (6, 7, 8: cm de separación); B: Tamaño de bulbo (c, chico; m, mediano; g, grande); Bb: Tamaño de bulbillo (c, chico; m, mediano; g, grande); Testigos:  $D_7$ ,  $B_m$ ,  $B_{bm}$ .

D: Distance among plants (6, 7, 8: cm of separation); B: Bulb size (c, small; m, medium; g, large); Bb: Bulbil size (c, small; m, medium; g, large); Control:  $D_7$ ,  $B_m$ ,  $B_{bm}$ .

## RESULTADOS

La densidad de plantas y el tamaño de bulbillo afectaron significativamente la emergencia de plántulas en las cuatro fechas de evaluación. El tamaño del bulbo sólo afectó significativamente la emergencia a los 16 días después de la plantación. Así mismo, el efecto de la densidad\*tamaño de bulbo, y la interacción de los factores, afectaron significativamente la emergencia a los 16 ddp. El rendimiento de bulbo fue afectado significativamente por el tamaño de bulbo y bulbillo (Tabla 3). La densidad de plantación (D) y tamaño de bulbillo (Bb) definieron la calidad de ajo en sus diversos tamaños comer-

ciales, seguidos por el tamaño de bulbo (B). Los efectos de la interacción D\*Bb y B\*Bb, en cambio, fueron visibles sólo en los bulbos Gigante y Super Jumbo cosechados (Tabla 4).

**Emergencia.** La comparación por contrastes ortogonales evidencia un aumento significativo de la emergencia por la disminución de la densidad de población (Tabla 5). Es decir, que la emergencia fue de 17 a 89%, de 9 a 30 d de registro. Además, la emergencia fue significativa ante el tamaño de bulbo a 16 y 23 ddp, y el tamaño de bulbillo aumentó significativamente la emergencia (Tabla 5). El bulbo grande aumentó significativa-

**Tabla 3.** Cuadrados medios del análisis de varianza para emergencia y rendimiento de bulbo de ajo. Celaya, Guanajuato, México. 2011-2012.

**Table 3.** Mean squares of the analysis of variance for emergence and garlic bulb yield (R). Celaya, Guanajuato, México. 2011-2012.

FV	Emergencia (%)				Rendimiento (kg/ha)
	9 d	16 d	23 d	30 d	
Densidad (D)	2056*	2541*	1840**	1365,3**	182604,0 ns
Bulbo (B)	130,7 ns	336,4**	65,5 ns	47,0 ns	74300906,8**
Bulbillo (Bb)	641,5**	469,2**	356,7**	171,4**	105588893,3**
D*B	167,0 ns	367,2**	54,0 ns	54,0 ns	143512,0 ns
D*Bb	18,3 ns	90,6 ns	13,2 ns	16,0 ns	6998765,4 ns
B*Bb	60,6 ns	49,2 ns	22,4 ns	20,1 ns	1108464,7 ns
D*B*Bb	78,3 ns	154,5**	9,11 ns	29,6 ns	8236435,9 ns
CV (%)	33,7	12,8	6,49	6,19	14,01

FV: Fuente de variación; d: días; CV: Coeficiente de variación; \*: significativo a  $p \leq 0,05$ ; \*\*: significativo a  $p \leq 0,01$ ; ns: no significativo.  
FV: Source of variation; d: days; CV: coefficient of variation; \*: significant at  $p \leq 0,05$ ; \*\*: significant at  $p \leq 0,01$ ; ns: not significant.

mente la emergencia de plántulas de ajo (hasta 67%), y el tamaño de bulbillo también aumentó significativamente la emergencia de plántulas de 29 a 86% en el primer mes de crecimiento de ajo (Tabla 5). Es decir, que la menor densidad de población de plantas, y tamaños grandes de bulbo y bulbillo, aumentaron el porcentaje de emergencia de plántulas de ajo.

Sólo los bulbos grandes y medianos variaron significativamente la emergencia a los 16 ddp. Los bulbillos medianos y grandes mostraron significancia de 9 a 23 ddp, y los bulbillos chicos afectaron significativamente la emergencia de ajo a los 30 ddp (Tabla 6). En los contrastes ortogonales, la menor densidad de plantas aumentó significativamente el porcentaje de emergencia (37 a 89%), conforme transcurrió el ciclo de ajo desde la plantación (Tabla 7). En ésta variable también se observaron efectos significativos de los bulbillos grandes luego de 9 a 30 ddp, al cambiar la emergencia de 29 a 86%. En general, una baja densidad de plantas y un tamaño grande de bulbos y bulbillos promovieron un mayor porcentaje de emergencia.

**Rendimiento de bulbo.** El rendimiento de bulbo fue significativo con la siembra de bulbos y bulbillos de mayor tamaño, de acuerdo a la prueba de Tukey (Tabla 6). Bajo éstas condiciones, el rendimiento fue superior a 15 t de bulbo/ha, en particular con el bulbo de ajo tipo Extra Gigante y bulbillo de tamaño grande.

**Calidad de bulbo.** La formación de bulbos de mejor calidad, Jumbo y Super Jumbo, dependió de una menor densidad de plantas; mientras que los bulbos Extra Flor y Gigante se formaron cuando la densidad de plantas fue alta (Tabla 7). Por otro lado, la cosecha de bulbos grandes, Jumbo y Super Jumbo, dependió del uso de bulbos grandes o Extra Gigante; esos tamaños de bulbo y Extra Gigante se formaron al emplear bulbillos grandes o medianos (Tabla 8).

**Tabla 4.** Cuadrados medios del análisis de varianza para calidad de ajo por tamaño de bulbo. Celaya, Guanajuato, México. 2011-2012.

**Table 4.** Mean squares of the analysis of variance for garlic bulb size. Celaya, Guanajuato, México. 2011-2012.

FV	Flor	Extra Flor	Gigante	Extra Gigante	Jumbo	Super Jumbo
Densidad (D)	7623567**	11053493*	10187565*	2596601 ns	15794908*	2123779*
Bulbo (B)	2735300**	1706712 ns	3651417 ns	1532406 ns	18719096*	19166170**
Bulbillo (Bb)	3217995**	2498915*	1551097 ns	14357907**	19613892**	20104385**
D*B	110183 ns	266973 ns	384377 ns	770427 ns	262965 ns	1744271 ns
D*Bb	177138 ns	446263 ns	4384189*	1123699 ns	1537842 ns	2824768 ns
B*Bb	23871 ns	552510 ns	3318675 ns	1301273 ns	1577401 ns	7327483*
D*B*Bb	154723 ns	222168 ns	2271630 ns	882985 ns	1448206 ns	1548676 ns
C.V. (%)	41,8	41,2	29,1	36,0	38,0	85,0

FV: Fuente de variación; d: días; CV: Coeficiente de variación; \*: significativo a  $p \leq 0,05$ ; \*\*: significativo a  $p \leq 0,01$ ; ns: no significativo.  
FV: Source of variation; d: days; CV: coefficient of variation; \*: significant at  $p \leq 0,05$ ; \*\*: significant at  $p \leq 0,01$ ; ns: no significant.

**Tabla 5.** Contrastes ortogonales para emergencia de ajo (%) en respuesta a la densidad de plantas, y al tamaño del bulbo y bulbillo. Celaya, Guanajuato, México. 2011-2012**Table 5.** Orthogonal contrasts for garlic emergence (%) in response to plant density and bulb and bulbil sizes. Celaya, Guanajuato, México. 2011-2012.

Contraste	Días después de la siembra			
	9	16	23	30
[D <sub>8</sub> vs (D <sub>6</sub> +D <sub>7</sub> )]	30 vs 24*	71 vs 61**	85 vs 78**	89 vs 82**
[D <sub>7</sub> vs D <sub>6</sub> ]	31 vs 17**	67 vs 55**	84 vs 72**	87 vs 77**
[Bg vs (Bc + Bm)]	27 vs 25 ns	67 vs 63*	80 vs 81 ns	84 vs 84 ns
[Bm vs Bc]	27 vs 24 ns	65 vs 61*	82 vs 79*	86 vs 83 ns
[Bbg vs (Bbc + Bbm)]	29 vs 24*	68 vs 63**	83 vs 79**	86 vs 83**
[Bbm vs Bbc]	28 vs 21**	64 vs 61 ns	82 vs 77**	85 vs 82*

D: distancia entre plantas (6, 7, 8: cm de separación); B: tamaño de bulbo (c, chico; m, mediano; g, grande); Bb: tamaño de bulbillo (c, chico; m, mediano; g, grande); testigos: D<sub>7</sub>, Bm, Bbm.

D: Distance among plants (6, 7, 8: cm of separation); B: Bulb size (c, small; m, medium; g, large); Bb: Bulbil size (c, small; m, medium; g, large); Control: D<sub>7</sub>, Bm, Bbm.

**Tabla 6.** Comparación de medias de Tukey para emergencia de plántula y rendimiento de bulbo por efecto del tamaño de bulbo y bulbillo de ajo plantado. Celaya, Guanajuato, México. 2011-2012.**Table 6.** Tukey test to compare garlic emergence (E) and garlic bulb yield (R) because of the garlic bulb and bulbil sizes. Celaya, Guanajuato, México. 2011-2012.

Tamaño de bulbo/ bulbillo	Emergencia (%)				Rendimiento (kg/h)
	9 d	16 d	23 d	30 d	
	Bulbo				
Extra Flor	23,9 a	61,2 b	79,8 a	84,6 a	12716,2 c
Gigante	27,0 a	65,3 ab	82,0 a	85,6 a	14522,9 b
Extra Gigante	27,4 a	67,2 a	79,5 a	83,7 a	15554,5 a
	Bulbillo				
Chico	21,32 b	61,36 b	76,90 b	85,8 a	12399,2 c
Mediano	27,87 a	63,92 ab	81,64 a	85,1 a	14628,6 b
Grande	29,21 a	68,48 a	82,86 a	81,6 b	15765,9 a

Medias con letras iguales no son significativamente distintas (p≤0,05).

Means followed by the same letter do not differ significantly (p≤0.05).

**Tabla 7.** Comparación de medias de Tukey para calidad de ajo por tamaño del bulbo (kg/ha) entre tres densidades de plantación de ajo. Celaya, Guanajuato, México. 2011-2012.**Table 7.** Tukey test for garlic quality by bulb size (kg/ha) among three plantation densities. Celaya, Guanajuato, México. 2011-2012.

Densidad de población	Flor (28-35 mm)	Extra Flor (36-43 mm)	Gigante (44-51 mm)	Extra Gigante (52-59 mm)	Jumbo (60-67 mm)	Super Jumbo (68-75 mm)
D <sub>6</sub>	1468,3 a	2601,9 a	4496,0 a	2441,6 a	2165,8 c	1052,4 b
D <sub>7</sub>	885,3 b	2269,3 a	4195,1 a	2901,4 a	2876,5 b	1093,3 b
D <sub>8</sub>	560,1 c	1520,1 b	3461,8 b	2911,8 a	3489,4 a	2403,8 a

D<sub>6</sub>: 333000 plantas/ha; D<sub>7</sub>: 285710 plantas/ha; D<sub>8</sub>: 250000 plantas/ha.

Medias con letras iguales no son significativamente distintas (p≤0,05).

Means followed by the same letter do not differ significantly (p≤0.05).

**Tabla 8.** Prueba de comparación de medias con Tukey para calidad de ajo medida por tamaño de bulbo y bulbillo (kg/ha). Celaya, Guanajuato, México. 2011-2012.

**Table 8.** Tukey test for garlic quality measured as bulb and bulbil sizes (kg/ha). Celaya, Guanajuato, México. 2011-2012.

Tamaño de bulbo/bulbillo	Flor (28-35 mm)	Extra Flor (36-43 mm)	Gigante (44-51 mm)	Extra Gigante (52-59 mm)	Jumbo (60-67 mm)	Super Jumbo (68-75 mm)
Bulbo						
Extra Flor	1273,4 a	2302,5 a	3688,8 a	2541,3 a	2094,1 c	816,3 b
Gigante	906,7 b	2303,2 a	4287,1 a	2759,8 a	2905,4 b	1460,8 b
Extra Gigante	733,6 b	1885,7 a	4177,0 a	2953,7 a	3532,3 a	2272,4 a
Bulbillo						
Chico	1302,1 a	2432,1 a	3846,3	2085,1 b	2034,4 b	699,6 b
Mediano	891,2 b	1945,5 a	4261,3	2828,6 a	3017,8 a	1684,2 a
Grande	720,4 b	2013,8 a	4045,3	3341,1 a	3479,6 a	2165,6 a

Medias con letras iguales no son significativamente distintas ( $p \leq 0,05$ ).

Means followed by the same letter do not differ significantly ( $p \leq 0.05$ ).

## DISCUSIÓN

**Emergencia.** El efecto de la densidad de población en la emergencia de plántulas se apreció durante el primer mes de establecimiento del ajo, aunque ésta ocurrió de manera irregular; en todas las lecturas, la mayor distancia entre bulbillos plantados mostró mayor valor porcentual (Tabla 5). Sin embargo, agrónomicamente es difícil explicar la influencia de la densidad en la emergencia de plántulas de ajo, a no ser que la comparación ocurra entre tamaños de bulbo o de bulbillos. En cambio, la información agroclimática podría brindar una posible respuesta. Antes de la plantación se habían acumulado 84,25 unidades calor. Durante el período de evaluación de la emergencia sólo se acumularon 0,15 unidades calor, y la temperatura media disminuyó ligeramente de 21,1 a 20,0 °C, y la temperatura mínima promedio fue de 11,27 °C. Yuste (1997) informó que para la brotación el ajo requiere temperaturas mínima, óptima y máxima de 6, 20 a 22 y 30 °C, respectivamente.

El proceso lento de emergencia pudo deberse, además, a la condición morfológica o fisiológica del bulbillo al momento de la siembra. Esto incluye (1) el crecimiento variable de la yema vegetativa de cada bulbillo de ajo en almacén, un hecho difícil de medir en la práctica comercial, y (2) diferencias en el contenido de reservas nutricionales de los bulbillos de tamaño distinto. Estos factores pueden no haber permitido distinguir los efectos significativos durante la emergencia de la plántula. La mayor cantidad de reservas en una semilla de tamaño grande produce una plántula vigorosa, que se establece con rapidez y muestra mejor desarrollo que una semilla de tamaño menor; esto ocurre en varias especies vegetales. El tamaño del bulbo de ajo tiene un gran efecto en el rendimiento del cultivo (Castellanos et al., 2004).

Las diferencias significativas debidas a la menor densidad de plantación, se apreciaron con la emergencia de la plántula

de ajo a los 9 ddp; efectos que se mantuvieron y aumentaron dicho porcentaje hasta la última lectura (Tabla 5). Esto se puede haber debido a cambios morfológicos ocurridos en la yema vegetativa, o "puya", del bulbillo (Burba, 1997b), más que a una respuesta impuesta por las condiciones ambientales o de manejo agronómico del cultivo.

En el Bajío, los productores realizan la "siembra" de ajo cada 8 cm de separación, lo que garantiza buena productividad. Otra ventaja que se tiene al usar la menor densidad de plantas, es el establecimiento de plantas vigorosas, con menor susceptibilidad a hongos y mejor aprovechamiento de los factores de la producción (Abdul-Baki, 1980). También se sabe que distancias amplias entre plantas de ajo, generan mayor proporción y tamaño de hojas, dada la escasa o nula competencia por recursos en un microambiente de mayor fertilidad (Karaye y Yakube, 2006). Por el contrario, Castellanos et al. (2004) informaron que la mayor densidad de plantas otorgada por el arreglo geométrico de plantas en camas de 2 m de ancho, maximizó el índice de área foliar y favoreció el mayor rendimiento del bulbo de ajo.

Bulbos grandes y medianos estimularon significativamente igual la emergencia de ajo a los 16 ddp (Tabla 6). Si el tiempo que una semilla necesita para germinar es de consideración fisiológica y económica importante, más aún lo representa para una estructura vegetativa como la de ajo. Si bien en el primer caso el arreglo estructural favorece la protección del embrión, y en algunas especies es fuente de dormición, la presencia de hojas catáfilas en ajo no significa garantía morfológica y sanitaria completa. Sin embargo, dichas hojas constituyen un mecanismo que facilita la protrusión de la hoja de brotación que, a pesar de la mayor distancia que recorre en un bulbillo grande, llevaría a la formación de plántulas vigorosas, capaces de sobreponerse a condiciones edáfico-ambientales adversas al inicio del crecimiento. Este es el caso de los bulbos grandes,

que tienden a mantener la estabilidad genética (Burba, 1997a; Burba, 2008), garantizan la producción de bulbos de buena calidad y la mayor uniformidad entre bulbillos (Mahmood et al., 2002).

Los bulbillos grandes y medianos promovieron mayor porcentaje de emergencia durante los primeros 23 días del ciclo, pero a los 30 ddp la emergencia dependería de bulbillos chicos y medianos (Tabla 6). Es decir, que con el avance del ensayo se homogenizó la emergencia, y estabilizó la densidad de plantas deseada. De manera similar, Reséndez (2003) obtuvo emergencia significativa de bulbillos grandes y chicos de ajo a los 14 y 19 ddp, respectivamente. Sin embargo, la producción de ajo se rige por la selección de bulbillos grandes en la plantación para acceder a la calidad. Contradictoriamente, un bulbillo chico muestra mayor velocidad de emergencia, pues la hoja de brotación, además de la menor distancia de recorrido hacia el ápice, requiere un desarrollo autotrófico rápido por el menor contenido de reservas que contiene (Burba, 1997b). Es decir, que la emergencia dependería del vigor que le brinda el bulbillo, y la mayor velocidad de emergencia se relacionaría con la distancia de desplazamiento de la hoja de brotación en el bulbillo.

Es necesario que el programa de fertilización química destinado para el ajo, además del tamaño, considere la dinámica y el período de aprovechamiento de reservas del bulbillo por la plántula, ya que ésta extrae una cantidad insignificante de nutrimentos del suelo (Gaviola y Lipinski, 2004). Más aún, ésta podría manifestar ausencia de efectos significativos al nitrógeno, absorbido por la planta entre niveles crecientes de nitrógeno, antes de la bulbificación (Saluzzo, 2003). Esto se explica porque la plántula de ajo consume las reservas del bulbillo durante los primeros 45 a 65 días (Burba, 1997b). El empleo de bulbillos grandes se justifica económicamente en la producción de ajo. Esto se debe al establecimiento de una densidad baja de población por el desarrollo vigoroso de la plántula y el empleo de un número inferior de bulbillos.

**Rendimiento de bulbo.** A diferencia de la ausencia de efectos significativos de la densidad de plantas en el rendimiento (Tabla 3), Segrett (1991) observó que el mismo aumentó al disminuir la distancia entre plantas, de 17 a 5 cm. Por otro lado, los bulbos de tamaño grande, utilizados como material de propagación, promueven un crecimiento uniforme y buen vigor de la plántula, e inducen mayor rendimiento y calidad del ajo (Burba, 2008). Los resultados de este estudio confirman tales apreciaciones, pues el rendimiento de bulbo fue mayor al emplear bulbos grandes (15,5 t/ha) que bulbos medianos o chicos (14,5 y 12,7 t/ha, respectivamente) (Tabla 6). Dichos rendimientos fueron superiores a los de Lipinsky et al. (1995), de 9,9 t/ha; sin embargo, difieren marcadamente de las casi 40 t/ha que se lograron con 600000 plantas/ha, debido a la distribución de plantas y uso de fertirriego, a costa de la calidad comercial (Castellanos et al., 2004). Paredes y Quijano

(2004) afirmaron que el ajo podría alcanzar un rendimiento de hasta 50 t/ha en la zona de El Bajío Guanajuatense.

En diversos experimentos de adaptación o de manejo del cultivo, el rendimiento de ajo fue de 17 t/ha (Rosen y Tong, 2001; Gaviola y Lipinski, 2004). En el mismo sentido, Pérez et al. (2010) obtuvieron una variación experimental de 18 a 25 t/ha de rendimiento de bulbo de ajo entre doce genotipos probados en la zona norte de Guanajuato, a 2035 m de altura. Con este estudio se comprobó que al sembrar bulbillos grandes se obtuvo un rendimiento de bulbo de casi 15,8 t/ha (Tabla 6). Estos resultados concuerdan con las afirmaciones de Burba (1997a), al señalar que el mayor peso del bulbillo grande es debido a la mayor cantidad de reservas que la planta de ajo acumula durante su crecimiento vegetativo. No obstante la relación positiva entre tamaño grande de bulbillos y la calidad de los bulbos a cosechar, Valadez (2001) sugirió además utilizar bulbillos de tamaño mediano para obtener bulbillos bien formados y de buena calidad en el ciclo siguiente. Del mismo modo, Stahlschmidt y Cavagnaro (1997) estiman que al utilizar bulbos de buena calidad es posible obtener bulbillos grandes y medianos. Los resultados de la Tabla 6 también demuestran que para establecer el cultivo se pueden utilizar los bulbillos de tamaño mediano, cuyo rendimiento de bulbo fue ligeramente inferior (14,6 t/ha) al que se obtuvo con bulbillos grandes, una característica agronómica que dependería del control genético (Burba, 2008).

**Rendimiento de bulbo por tamaño.** La menor densidad de plantas de ajo en el surco permite cosechar bulbos de mayor tamaño, como las categorías Jumbo y Super Jumbo (Tabla 7), debido a que el mayor espaciamiento entre individuos de un cultivo disminuye la competencia por asignación de fotoasimilados y nutrientes durante el crecimiento de la planta y favorece el mejor desarrollo del órgano de interés económico. En el caso del ajo, el mayor espaciamiento entre plantas incrementa el tamaño del bulbo y sus componentes, y el éxito en la calidad que exige el mercado de ajo en fresco (Castellanos et al., 2004). Por el contrario, si se busca deshidratar el bulbo de ajo, la respuesta positiva en la productividad con la mayor densidad de plantas se debe al aumento del índice y duración del área foliar de las plantas de ajo (Castillo et al., 1996). Con respecto al espaciamiento entre las plantas de dicho cultivo, la competencia por recursos aumenta con la mayor densidad de población, sobre todo alrededor de 30 cm de profundidad, donde ocurre la mayor actividad radical (Mohammad y Zurraiqui, 2003). Esto pudo haber sucedido para las densidades de plantación alta y media, al permitir la formación de bulbos Flor, Extra Flor y Gigante.

Bulbos tamaño Extra Flor y bulbillos chicos afectaron significativamente la formación de bulbos chicos, tipo Flor. Bulbos grandes (Extra Gigante), y bulbillos medianos y grandes, llevaron a la formación de bulbos Extra Gigante, Jumbo y Super Jumbo (Tabla 8), debido a las mayores reservas y po-

tencial productivo que poseen. Estos resultados confirman la decisión que regularmente toman los agricultores en El Bajío (1) para seleccionar y sembrar bulbos y bulbillos de tamaño grande, y (2) por el alto valor en el mercado local y en el de exportación (Castellanos et al., 2004). Los CV registrados en estas variables, que oscilaron de 29 a 85% (Tabla 7), indican la variación en el tamaño de bulbo cosechado: la mayor homogeneidad dependió del tamaño medio del bulbo (Gigante) y la mayor heterogeneidad coincidió con bulbos chicos (Flor y Extra Flor) y grandes (Extra Gigante, Jumbo y Super Jumbo).

## CONCLUSIONES

El aumento del porcentaje de emergencia de plántulas y la calidad de bulbos y bulbillos, por el mayor tamaño, estuvo relacionado con la menor densidad de plantación, pero no con el rendimiento de bulbo de ajo.

El tamaño de bulbo grande y mediano usado en la siembra se refleja después de 16 d de la emergencia de plántulas de ajo. Los bulbos grandes coadyuvan al rendimiento máximo de bulbo (15,5 t/ha) y a la mejor calidad de bulbos, como Jumbo y Super Jumbo.

El efecto de sembrar bulbillos grandes y medianos se observa en los primeros 23 días de edad del ajo; 30 días después de la plantación, la emergencia depende del tamaño chico y mediano del bulbillo. El rendimiento de bulbo se asoció con la siembra de bulbillos de mayor tamaño, y la calidad del ajo con el tamaño del bulbo a la siembra (de bulbillos grandes o medianos).

## REFERENCIAS

- Abdul-Baki, A.A. (1980). Biochemical aspects of seed vigor. *Horticultural Science* 15: 765-760.
- Burba, J.L. (1997a). Panorama mundial y nacional de poblaciones y cultivares de ajo. Posibilidades de adaptación. En: Burba, J.L. (ed.), pp. 11-31. Cincuenta Temas Sobre la Producción de Ajo. Volumen 2. La Consulta, Mendoza, Argentina.
- Burba, J.L. (1997b). Obtención de nuevos cultivares de ajo. En: Burba, J.L. (ed.), pp. 49-56. Cincuenta Temas Sobre la Producción de Ajo. Volumen 2. La Consulta, Mendoza, Argentina.
- Burba, J.L. (1997c). Control de calidad en ajos destinados al mercado externo. En: Burba, J.L. (ed.), pp. 58-68. Cincuenta Temas Sobre la Producción de Ajo. Volumen 4. La Consulta, Mendoza, Argentina.
- Burba, J.L. (2008). Los grupos varietales del ajo (*Allium sativum* L.). Contribución para su entendimiento. *Horticultura Argentina* 27: 20-26.
- Castellanos, R.J.Z., P. Vargas-Tapia, J.L. Ojodeagua, G. Hoyos, G. Alcántar-González, F.S. Méndez, E. Álvarez-Sánchez y A.A. Gardea (2004). Garlic productivity and profitability as affected by seed clove size, planting density and planting method. *Horticultural Science* 39: 1272-1277.
- Castillo, J.E., L. López-Bellido, E.J. Fernández y F.J. López (1996). Influence of planting geometry on growth, yield and quality of rainfed garlic (*Allium sativum* L.) cultivated under Mediterranean conditions. *Journal of Horticultural Sciences* 71: 867-879.
- FAOSTAT (2011). Producción de ajo por regiones. En: FAO (ed.). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Página electrónica: [www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org). Consulta: Septiembre 23, 2011
- Ferrato, J. y M.C. Mondino (2008). Producción, Consumo y Comercialización de Hortalizas en el Mundo. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario. Argentina. Revista Agromensajes 24. Página electrónica: <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/24/4AM24.htm>. Consulta: Septiembre 19, 2011.
- Figliuolo, G., V. Candido, G. Logozzo, V. Miccoli y P.L. Spagnoletti-Zeuli (2001). Genetic evaluation of cultivated garlic germplasm (*Allium sativum* L. and *A. ampeloprasum* L.). *Euphytica* 121: 325-334.
- Gaviola, S. y V.M. Lipinski (2004). Evaluación de rendimiento y nitratos en ajo cv. Nieve INTA con riego por goteo. *Agricultura Técnica (Argentina)* 64: 172-181.
- Heredia, G.E. (2000). Cosecha. En: SAGAR-INIFAP-CEBAJ (eds.), pp. 78-84. El Ajo en México. Origen, Mejoramiento Genético, Tecnología de Producción. Libro Técnico No. 3. Celaya, Guanajuato, México.
- Heredia, Z.A. (1997). Number of cloves per bulb: selection criteria for garlic improvement. I. Results with "Chileno" type. *Acta Horticulturae* 433: 265-270.
- Heredia, Z.A. y E.G. Heredia (2000). Mejoramiento genético de ajo en el INIFAP. En: SAGAR-INIFAP-CEBAJ (eds.), pp. 29-32. El Ajo en México. Origen, Mejoramiento Genético, Tecnología de Producción. Libro Técnico No. 3. Celaya, Guanajuato, México.
- Huez, L.M.A., J. López, J. Jiménez, S. Garza, F.A. Preciado, A. Álvarez, P. Valenzuela y J. Rodríguez (2010). Fertilización nitrogenada en el cultivo de ajo (*Allium sativum* L.) bajo riego por goteo en la Costa de Hermosillo. *BIOtecnica* 12: 23-31.
- Ipek, M., A. Ipek, G. Almquist y W. Simon (2005). Demonstration of linkage and development of the first low-density genetic map of garlic, based on AFLP markers. *Theoretical and Applied Genetics* 110: 228-236.
- Karaye, A.K. y I. Yakubu (2006). Influence of intra-row spacing and mulching on weed growth and bulb yield of garlic (*Allium sativum* L.) in Sokoto, Nigeria. *African Journal of Biotechnology* 5: 260-264.
- Lipinsky, V.M., S. Gaviola y F. Filippini (1995). Influencia del riego, la fertilización nitrogenada y el tamaño del diente sobre el rendimiento y calidad de ajo colorado (*Allium sativum* L.). *Ciencia del Suelo* 13: 80-84.
- Mahmood, T., K. Mahmood y M. Shakeel (2002). Integrated weed management practices in garlic crop in Pakistan. *Crop Protection* 26: 1031-1035.
- Mohammad, M.J. y S. Zuraiqui (2003). Enhancement of yield and nitrogen and water use efficiencies by nitrogen drip-fertigation of garlic. *Journal of Plant Nutrition* 26: 1749-1766.
- Paredes, M.R. y J.M. Quijano (2004). Rendimiento potencial del cultivo de ajo. En: Arévalo, V.A. (ed.), pp. 10-15. Estudio de los Factores que Inciden en la Productividad de Cultivos Hortícolas en Guanajuato. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro Experimental Bajío. Celaya, Guanajuato, México.
- Pardo, R.A. y R.C. Marin (2003). Clasificación de cultivares de ajo por métodos de análisis multivariado. *Agroonomía Tropical* 53: 10-21.

- Pérez, M.L., P.M. García, R. Ramírez y J.L. Barrera (2003). Evaluación de cultivares de ajo morado y blanco por su rendimiento agronómico e industrial en Irapuato, Guanajuato. *Acta Universitaria* (Universidad de Guanajuato) 13: 57-65.
- Pérez, M.L., D. Santiago, E. Rico, R. Ramírez y B. Mendoza (2008). Efecto de virus sobre características agronómicas y calidad del ajo (*Allium sativum* L.), en el estado de Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 26: 40-48.
- Pérez, M.L., M. Navarro, B. Mendoza y R. Ramírez (2010). Evaluación de rendimiento de compuestos de ajo tipo Taiwán. *Acta Universitaria* (Universidad de Guanajuato) 20: 63-69.
- Petersen, R.G. (1994). *Agricultural Field Experiments: Design and Analysis*. Marcel Dekker, Inc. New York, N.Y. USA. 409 p.
- Reséndez Morales, Y.G. (2003). Dinámica nutrimental y tamaño de diente en el rendimiento y la calidad de diente de ajo (*Allium sativum* L.). Tesis de Maestría en Ciencias en Semillas. Instituto Tecnológico de Roque. Celaya, Guanajuato, México. 101 p.
- Rosen, C.J. y B.S. Tong (2001). Yield, dry matter partitioning and storage quality of hardneck garlic as affected by soil amendments and scape removal. *HortScience* 36: 1235-1239.
- 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.
- SAS (Statistical Analysis System) (2002). *The SAS System for Windows 9.0*. SAS Institute, Inc. North Caroline. USA.
- Segrett, F. (1991). Efectos de espaciamento en la producción de ajo. *Agricultura Técnica* (Brasil) 12: 34-46.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2012). Página electrónica: [http://reportes.siap.gob.mx/Agricola\\_siap/ResumenProducto.do](http://reportes.siap.gob.mx/Agricola_siap/ResumenProducto.do). Consulta: Noviembre 4, 2012.
- Stahlschmidt, O. y B. Cavagnaro (1997). Influence of planting date seed cloves size on leaf area and yield of two garlic cultivars (*Allium sativum* L.). *Acta Horticulturae* 433: 519-525.
- Valadéz, L.A. (2001). *Producción de Hortalizas*. 9ª edición. LIMUSA. México. 298 p.
- Walker, S. (2011). *Garlic Production in New Mexico*. Guide H-234. Cooperative Extension Service. College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences. New Mexico State University. Las Cruces, New Mexico. 4 p.
- Yuste P., M.P. (1997). Horticultura. En: *Biblioteca de la agricultura*. Ed. Idea Books. Barcelona, España. pp. 531-768.