

# Plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) provenientes de semillas embebidas en diferentes soluciones de giberelinas (GA<sub>3</sub>)

Obtention of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.) from seeds imbibited in different concentrations of gibberellic acid (GA<sub>3</sub>)

Helber Enrique Balaguera-López<sup>1</sup>, Yuli Alexandra Deaquiz<sup>1</sup> y Javier Giovanni Álvarez-Herrera<sup>1, 2</sup>

## RESUMEN

La obtención de plántulas de tomate vigorosas y en menor tiempo para el trasplante se ha convertido en un factor clave a la hora de iniciar la producción. Con el fin de disminuir el efecto postrasplante e impulsar el desarrollo vegetativo de las plántulas, se sometieron semillas del híbrido larga vida Daniela a imbibición (6, 12, 18, 24, 30 y 36 horas) en tres concentraciones de ácido giberélico (300, 600 y 900 mg L<sup>-1</sup>) y se sembraron en bandejas. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado, 18 tratamientos más un testigo con cuatro repeticiones durante cuatro semanas, primera fase. Luego en segunda fase, se trasplantaron cuatro plantas al azar por tratamiento en bolsas de polietileno, y cuatro semanas después se evaluaron. El tratamiento de 36 horas de imbibición y 300 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub> mostró diferencias estadísticas en la primera fase para el área foliar, masa fresca de hojas, tallo y raíces y longitud de raíces, y en la segunda fase en la masa seca de hojas, tallo y raíz y en el área foliar. Semillas de tomate embebidas en 300 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub> generan plántulas con mayor vigor.

**Palabras clave:** híbrido Daniela, sustrato, propagación, turba.

## ABSTRACT

Rapid obtention of vigorous tomato seedlings for transplantation has become a key factor in starting tomato production. In order to diminish post-planting effect and enhance seedling vegetative growth, seeds of long life hybrid Daniela were submitted to imbibition (6, 12, 18, 24, 30, and 36 hours) in three concentrations of gibberellic acid (300, 600 and 900 mg L<sup>-1</sup>) and then planted in trays. In the first phase, under a completely randomized design, 18 treatments and a control experiment, all of them replicated four times each, were carried out during four weeks. In the second phase, four plants out of each treatment were randomly chosen and planted in polyethylene bags, and evaluated after four weeks. During the first phase, the 300 mg L<sup>-1</sup> and 36 hour imbibition treatment showed significant statistical differences in leaf area, stem, root and leaf fresh mass and root length; during the second phase, the same treatment showed significant differences in root, stem and leaf dry mass, and in leaf area. Tomato seeds imbibited in a 300 mg L<sup>-1</sup> solution of GA<sub>3</sub> produce more vigorous plants.

**Key words:** hybrid Daniela, substrate, propagation, peat.

## Introducción

El aumento del vigor de las plántulas de tomate incrementa la capacidad de competencia del vegetal al momento del trasplante. Esto le permite al agricultor disminuir el tiempo en la etapa de vivero y a la plántula adaptarse a las condiciones adversas del trasplante y postrasplante. Este aumento mejora el crecimiento radicular, la toma de nutrientes, los procesos de fotosíntesis, y por tanto, favorece el desarrollo de la planta (Arjona *et al.*, 1998).

La imbibición es el proceso de toma de agua por parte de la semilla (Moreno *et al.*, 2006). Esta se da mediante la inmersión de las semillas en soluciones osmóticas o en cantidades determinadas de agua durante cierto periodo de tiempo (Henckel, 1982). La imbibición permite que un

mayor número de semillas alcance rápidamente el mismo nivel de humedad y active el aparato metabólico relacionado con el proceso pregerminativo (Burgas y Powell, 1984). Las giberelinas (GA) empiezan a acumularse rápidamente en los embriones después de 24 h de imbibición. Estas hormonas estimulan la síntesis de enzimas hidrolíticas, principalmente  $\alpha$ -amilasa, en la capa de aleurona (Davies, 2004). Las amilasas degradan el almidón y los productos de la digestión almacenados en la aleurona y el endospermo almidonoso, y luego son movilizados al escutelo para iniciar el crecimiento de las plántulas (Azcón-Bieto y Talón, 2000).

En semillas de tomate, se encontró la expresión de cuatro genes relacionados con el crecimiento de la radícula y el debilitamiento del endospermo (Chen y Bradford, 2000;

Fecha de recepción: 16 de noviembre de 2007. Aceptado para publicación: 19 de febrero de 2009

<sup>1</sup> Grupo de Investigaciones Agrícolas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja.

<sup>2</sup> Autor de correspondencia. jgalvarezh@gmail.com

Chen *et al.*, 2001). La expresión de estos genes empieza previo a la emergencia de la radícula y es positivamente regulada por GA. Estos genes son el EXP8, LeEXP4, LeXET4 y LeMAN2 (Chen *et al.*, 2002). Además las GA incrementan el crecimiento potencial del embrión (Ogawa *et al.*, 2003). Por tanto, las GA hacen que un embrión con una radícula más fuerte penetre un endospermo debilitado, lo cual genera una germinación más rápida y acelera el crecimiento de la plántula.

Del mismo modo, las GA controlan aspectos importantes en el desarrollo de las plantas, actúan como estimulantes del crecimiento al originar plantas de mayor tamaño (Vichiato *et al.*, 2007), aumentan la expansión foliar, la floración y el desarrollo de las semillas (Ogawa *et al.*, 2003). Según Azcón-Bieto y Talón (2000), una de las funciones más importantes de las GA es la promoción del crecimiento del tallo. Esto se debe a la inducción de la división celular en el meristemo subapical.

Parece ser que las GA acortan la interfase del ciclo celular al inducir a las células de la fase G<sub>1</sub> a sintetizar DNA. Por tanto, la aplicación de GA incrementa el tamaño de la zona meristemática al aumentar el número de células que entran en división celular (Azcón-Bieto y Talón, 2000; Taiz y Zeiger, 2002). Estas células contribuyen posteriormente a la elongación del tallo, crecimiento de hojas y raíces. Grunzwei *et al.* (1997) determinaron que el crecimiento de las plantas de tomate estaba mediado por las GA.

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar diferentes tiempos de imbibición de semillas de tomate sometidas a distintas concentraciones de giberelinas y determinar su efecto en el crecimiento de las plántulas.

## Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo en el invernadero de vidrio de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, sede Tunja, la cual se encuentra a 5° 32' N, 73° 22' W, a una altitud de 2.690 msnm. Durante el experimento, la temperatura interior promedio del invernadero fue de 18°C y la humedad relativa de 65%.

Se utilizaron semillas de tomate larga vida híbrido Daniela que fueron imbibidas en ácido giberélico (GA<sub>3</sub>). El sustrato empleado para la siembra de las semillas fue turba rubia canadiense cuyas propiedades fisicoquímicas se muestran en la Tab. 1. Las semillas de tomate fueron sembradas en bandejas de 72 alvéolos de referencia A-BA72. Para el

trasplante se usaron bolsas plásticas de polietileno con capacidad de 4,5 L de sustrato, que se llenaron con suelo (Tab. 1).

**TABLA 1.** Propiedades fisicoquímicas del suelo y la turba utilizados en la obtención de plántulas de tomate.

Propiedad	Suelo negro	Turba canadiense	Unidades
Densidad real	2,30	-	g cm <sup>-3</sup>
Densidad aparente	1,20	0,08	g cm <sup>-3</sup>
Porosidad	48,00	90,00	%
Θg (cc) <sup>1</sup>	35,00	60,00	%
pH	4,80	6,70	Escala
MO	4,80	85,00	%
Ca	1,58	6,40	cmol kg <sup>-1</sup> de suelo
Mg	0,27	4,30	cmol kg <sup>-1</sup> de suelo
K	0,16	3,50	cmol kg <sup>-1</sup> de suelo
Na	0,88	11,00	cmol kg <sup>-1</sup> de suelo
P	9,25	-	mg kg <sup>-1</sup> de suelo

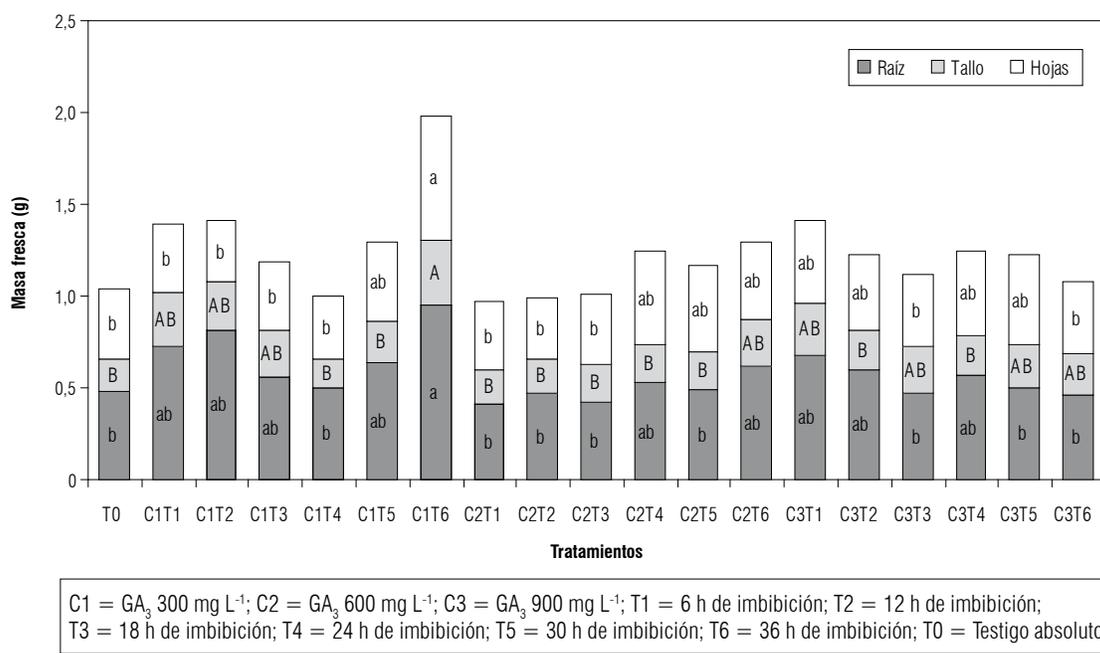
<sup>1</sup> Θg (cc), contenido de humedad gravimétrico a capacidad de campo.

El experimento tuvo dos fases; en ambas se dispuso un diseño completamente al azar. Se evaluó la combinación de tres concentraciones de giberelinas (300, 600 y 900 mg L<sup>-1</sup>) disueltas en agua y seis tiempos de imbibición de las semillas de tomate (6, 12, 18, 24, 30, y 36 h) más un testigo absoluto, para un total de 19 tratamientos con cuatro repeticiones, que sumaron 86 unidades experimentales (UE).

La primera fase consistió en medir variables de crecimiento en cuatro plántulas por tratamiento al momento del trasplante (cuatro semanas después de la siembra). La segunda fase fue evaluar las plantas cuatro semanas después de trasplantadas, para lo cual se emplearon otras cuatro plántulas por tratamiento. Cada UE estuvo compuesta por diez semillas, las cuales se sometieron a los tratamientos y se sembraron en las bandejas de propagación.

La segunda fase se dispuso con el fin de evaluar posibles efectos causados por las concentraciones de GA. Las plántulas fueron sembradas en bolsas de polietileno con el suelo negro, se les suministró riego por goteo y se aplicó a cada planta semanalmente 1 g de N, P y K (grado 15-15-15). Al cabo de cuatro semanas se procedió a la toma y al análisis de los datos.

En las dos fases se midieron: área foliar, mediante el analizador Li-Cor® 3000A (Lincoln, NE, USA); masa fresca de raíz, tallo y hojas, masa seca de raíz, tallo y hojas después de someter las plantas a 70°C durante 48 h; tasa de asimilación



**FIGURA 1.** Masa fresca de hojas, tallos y raíces de plántulas de tomate en primera fase expuestas a imbibición y concentraciones de GA<sub>3</sub> en la etapa de semilla. Promedios de la misma serie con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

neta (TAN); tasa relativa de crecimiento (TRC); longitud de raíz principal y altura de plantas.

Se realizó un análisis de varianza (Anova) para conocer la existencia de diferencias estadísticas entre tratamientos. La prueba de Tukey se hizo con el fin de determinar los mejores tratamientos con una confiabilidad de 95%. Se utilizó para el análisis el paquete estadístico SAS v. 8.1e.

## Resultados y Discusión

### Masa fresca

En la primera fase se encontraron diferencias significativas en la masa fresca de hojas, tallos y raíces. En todos los casos la mayor respuesta se indujo con 36 h de imbibición y 300 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub> (Fig. 1). En la segunda fase no se presentaron diferencias significativas; sin embargo, los valores más altos se obtuvieron con el mismo tratamiento (hojas 3,09 g; tallo 1,50 g y raíz 3,55 g). La menor respuesta fue con 18 h de imbibición y 600 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub> (hojas 1,17 g; tallo 0,54 g y raíz 2,01 g). Lo que indica que de semillas de tomate con 36 h de imbibición y 300 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub> se obtienen plántulas de mayor tamaño y con una respuesta más favorable en el postrasplante.

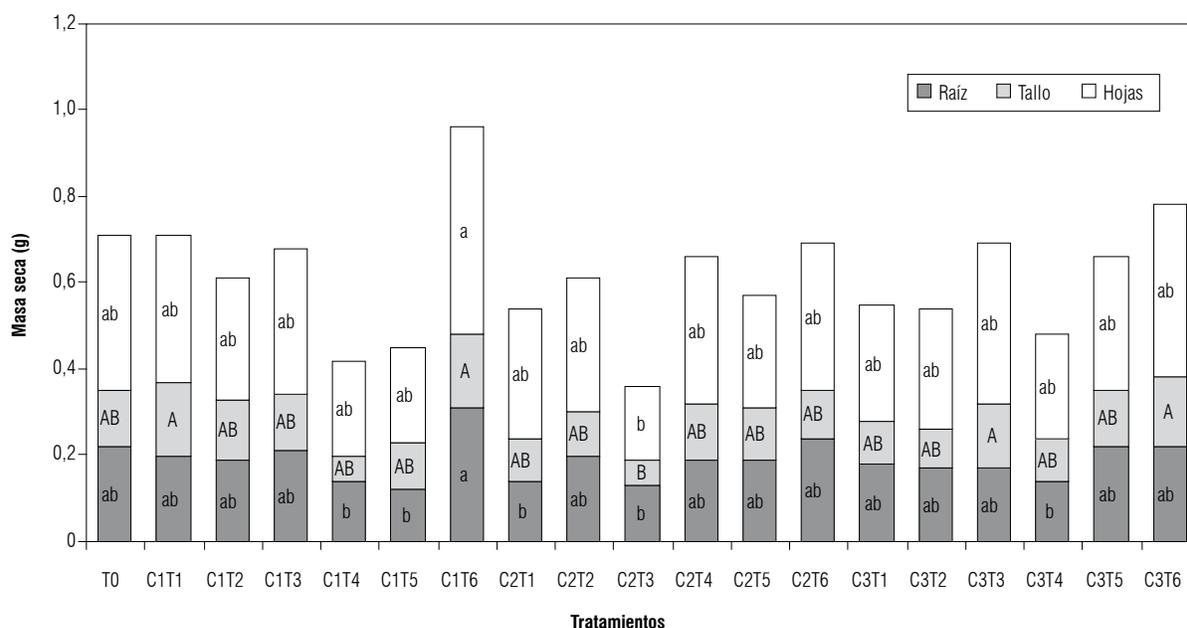
El crecimiento o expansión celular depende de la rigidez de las paredes celulares, que se opone a la fuerza que produce la turgencia interior. Aunque las GA no afectan

el potencial osmótico directamente, ni otros parámetros relacionados con la turgencia celular, se sabe que producen modificaciones sensibles en la extensibilidad de las paredes celulares (Azcón-Bieto y Talón, 2000). Las giberelinas junto con las auxinas influyen de forma indirecta en la absorción de agua al aumentar la elasticidad de la pared celular; por tanto, incrementan la cantidad de agua en la célula (Taiz y Zeiger, 2002) y, en consecuencia, la masa fresca.

Kasama y Katsumi (1983) encontraron que la aplicación de GA<sub>3</sub> (100 μM) incrementó la masa fresca y la elongación de hipocótilos de *Cucumis sativum*. El potencial osmótico de las células epidermales fue más bajo que el control, lo que sugiere que el papel de GA en la elongación celular se debe a relaciones de control hídrico en la célula.

### Masa seca

La fitomasa seca no se vio afectada significativamente por los tiempos de imbibición y las concentraciones de GA<sub>3</sub> en la primera fase; sin embargo, el valor más alto para raíz, tallo, hojas y total fue alcanzado con 36 h de imbibición y 300 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub> (0,03; 0,02; 0,08 y 0,13 g, respectivamente), frente a la menor respuesta con 6 h de imbibición y 600 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub>. Para la segunda fase se presentaron diferencias altamente significativas (Fig. 2). De igual manera, el tratamiento de 36 h y 300 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub> presentó los valores más altos de fitomasa seca; los



C1 = GA<sub>3</sub> 300 mg L<sup>-1</sup>; C2 = GA<sub>3</sub> 600 mg L<sup>-1</sup>; C3 = GA<sub>3</sub> 900 mg L<sup>-1</sup>; T1 = 6 h de imbibición; T2 = 12 h de imbibición; T3 = 18 h de imbibición; T4 = 24 h de imbibición; T5 = 30 h de imbibición; T6 = 36 h de imbibición; T0 = Testigo absoluto

**FIGURA 2.** Masa seca de hojas, tallos y raíces de plantas de tomate en segunda fase expuestas a imbibición y concentraciones de GA<sub>3</sub> en la etapa de semilla. Promedios de la misma serie con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

valores más bajos se dieron con 18 h de imbibición y 600 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub>.

También se encontraron aumentos en la masa seca de raíz, tallo e inflorescencias con la aplicación de GA<sub>3</sub> en *Brassica oleraceae* L. var. Botrytis DC (González *et al.*, 2007) y en plántulas enanas de arveja, donde parte de este incremento se debió a un aumento en la masa seca del material de la pared celular. Es posible que la tasa de incremento de síntesis de la pared celular esté precedida por las GA que permiten un incremento en la expansión celular (McComb, 1966). En raíces jóvenes de remolacha, la aplicación exógena de GA<sub>3</sub> incrementó la masa seca; la aplicación en un solo pecíolo incrementó significativamente la masa seca en raíces y follaje (Garrod, 1974). Sin embargo, Salisbury y Ross (1994) sostienen que las giberelinas afectan la masa fresca pero no la masa seca.

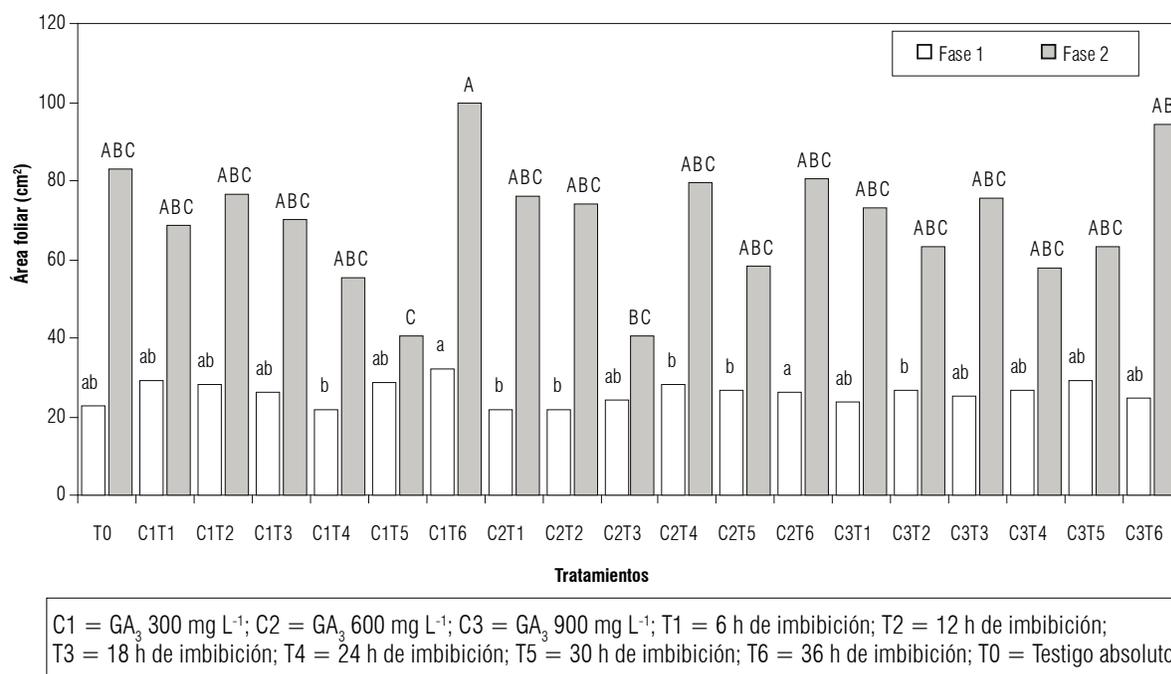
### Área foliar

El tratamiento con 36 h de imbibición y 300 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub> mostró un efecto significativo comparado con los demás tratamientos en el área foliar (32,31 cm<sup>2</sup>) en la primera fase. La menor respuesta se observó con 18 h de imbibición y 300 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub> (21,56 cm<sup>2</sup>). En la segunda fase también se presentaron diferencias, la mayor área foliar (99,68 cm<sup>2</sup>) correspondió a 36 h y 300 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub>, pero la menor

área (40,59 cm<sup>2</sup>) se debió a 18 h de imbibición y GA<sub>3</sub> 600 mg L<sup>-1</sup> (Fig. 3).

Las GA inducen elongación y división celular, procesos que se traducen en la obtención de mayor área foliar, la cual aumenta la eficiencia de la fotosíntesis (Almanza, 2000). Esto se observa claramente en el área foliar de la fase dos (Fig. 3) en donde el valor más alto de área foliar presenta mayor diferencia que en la fase uno. Del mismo modo, Almeida y Pereira (1996), aseguran que la aplicación de GA<sub>3</sub> aumenta el área foliar porque la transformación de los primordios foliares ocurre más rápido y la expansión foliar es mayor.

Contrariamente, en *Helianthus annuus* L., la aplicación de GA<sub>3</sub> al 10% disminuyó el área foliar significativamente respecto al testigo, principalmente por un déficit en la hidratación de las hojas, ya que las giberelinas determinan una menor tolerancia a la sequía; adicionalmente, la planta gasta una buena cantidad de nutrientes en la elongación celular del tallo (Silva *et al.*, 2001). Bultynck y Lambers (2004) encontraron que en *Aegilops caudata* y *Aegilops tauschii* la aplicación exógena de GA incrementó el área foliar por aumento en el número y tamaño de las células, incrementó la biomasa en hojas y la disminuyó en raíces. GA<sub>3</sub> aplicadas en raíces y follaje de remolacha causaron



**FIGURA 3.** Área foliar de plántulas de tomate expuestas imbibición y concentraciones de GA<sub>3</sub> en la etapa de semilla. Promedios de la misma serie con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

una reducción en la formación de hojas, pero el área foliar y la masa seca de la parte aérea no fueron afectadas (Garrod, 1974).

La razón por la cual las mayores concentraciones de GA<sub>3</sub> (600 y 900 mg L<sup>-1</sup>) no generaron las mayores áreas foliares respecto a la concentración de 300 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub>, se debe probablemente a que éstas concentraciones comienzan a ser excesivas y generan una pequeña disminución en la expansión foliar.

#### Tasa de asimilación neta (TAN)

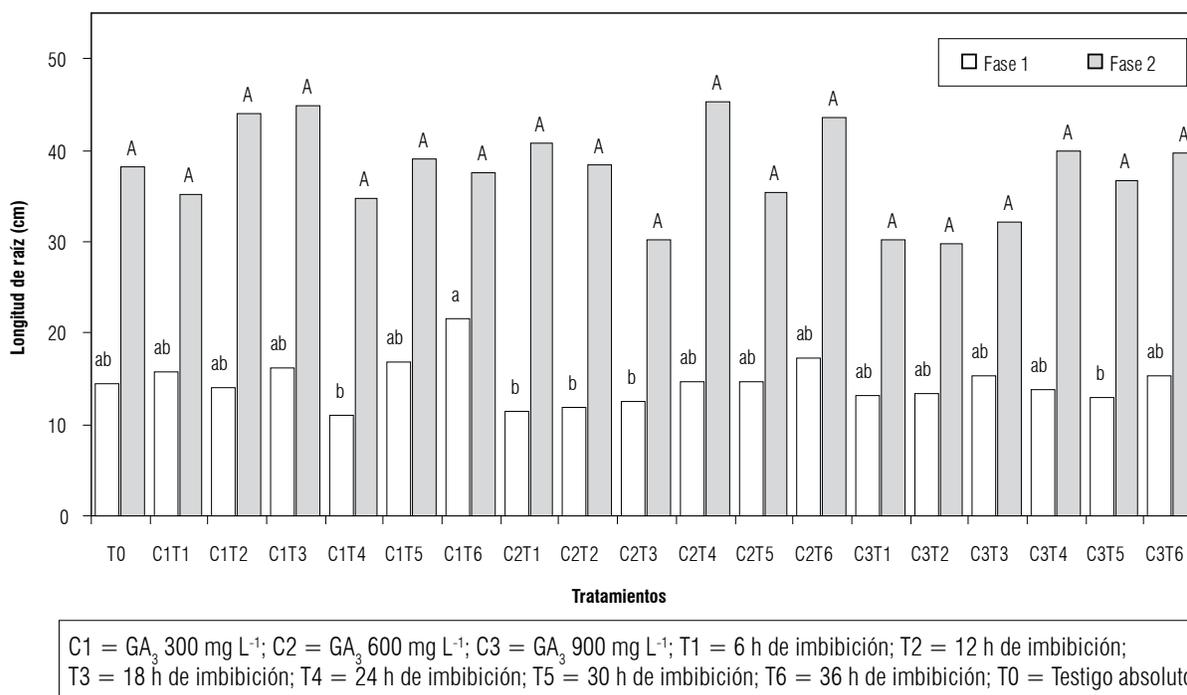
La mayor eficiencia fotosintética (contenido de materia seca producido mediante fotosíntesis por unidad de área foliar) se logró con 36 h de imbibición y 300 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub> con un promedio de 0,00046237 g cm<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> comparado con la menor eficiencia lograda con 18 h de imbibición y 600 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub> que mostró un valor de 0,00034126 g cm<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> sin presentar diferencias estadísticas. El aumento en la TAN dependió principalmente de la cantidad de área foliar presente, encargada de la fotosíntesis. Este aumento en el área foliar fue obtenido gracias a la elongación celular promovida por GA<sub>3</sub>, compuesto que incrementa la extensibilidad de la pared celular mediante la remoción de calcio del apoplasto (Métraux, 1987). Por otro lado, Nagel *et al.* (2001) determinaron que mutantes de tomate

deficientes en GA aumentaron la TAN y disminuyeron la TRC y el área foliar específica.

#### Tasa relativa de crecimiento (TRC)

No hubo diferencias significativas en la tasa relativa de crecimiento. La mayor TRC se obtuvo con 36 h de imbibición y 900 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub> (0,07799 g g<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) y la menor se presentó con 12 h de imbibición y 900 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub> (0,05667 g g<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>).

En *Plantago major* se encontró que los genotipos de lento crecimiento tienen niveles endógenos bajos de GA y, en consecuencia, mayor respuesta a la aplicación exógena de GA<sub>3</sub>, y viceversa. El incremento en la TRC por la aplicación de GA<sub>3</sub> fue asociado con un aumento en la masa seca de las hojas, las cuales fueron afectadas solo temporalmente. La correlación entre baja TRC, baja concentración de GA y alta respuesta al GA<sub>3</sub> aplicado, permite afirmar que las GA están envueltas en la regulación de la TRC; sin embargo, la influencia temporal de la aplicación de GA<sub>3</sub> en muchos componentes del crecimiento sugiere la implicación de otros factores reguladores además de las GA (Dijkstra *et al.*, 1990). No obstante, en *Aegilops caudata* y *Aegilops tauschii* la TRC permaneció constante en respuesta a la aplicación de GA<sub>3</sub> exógeno (Bultynck y Lambers, 2004).



**FIGURA 4.** Longitud de raíz principal de plántulas de tomate expuestas a imbibición y concentraciones de GA<sub>3</sub> en la etapa de semilla. Promedios de la misma serie con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

En tomate, bajas TRC se producen por un mayor aumento en proteínas y ácidos nucleicos; altas TRC ocurren por el aumento en el contenido de celulosa en las raíces. La alta contribución de celulosa, hemicelulosa y G- y S- lignina fue encontrada en plantas con bajas TRC, mientras que altas concentraciones de proteínas se presentaron en TRC mayores. Estos resultados se deben a un cambio en el efecto de las GA sobre el tamaño de las células (Niemann *et al.*, 1996).

### Longitud de raíz principal

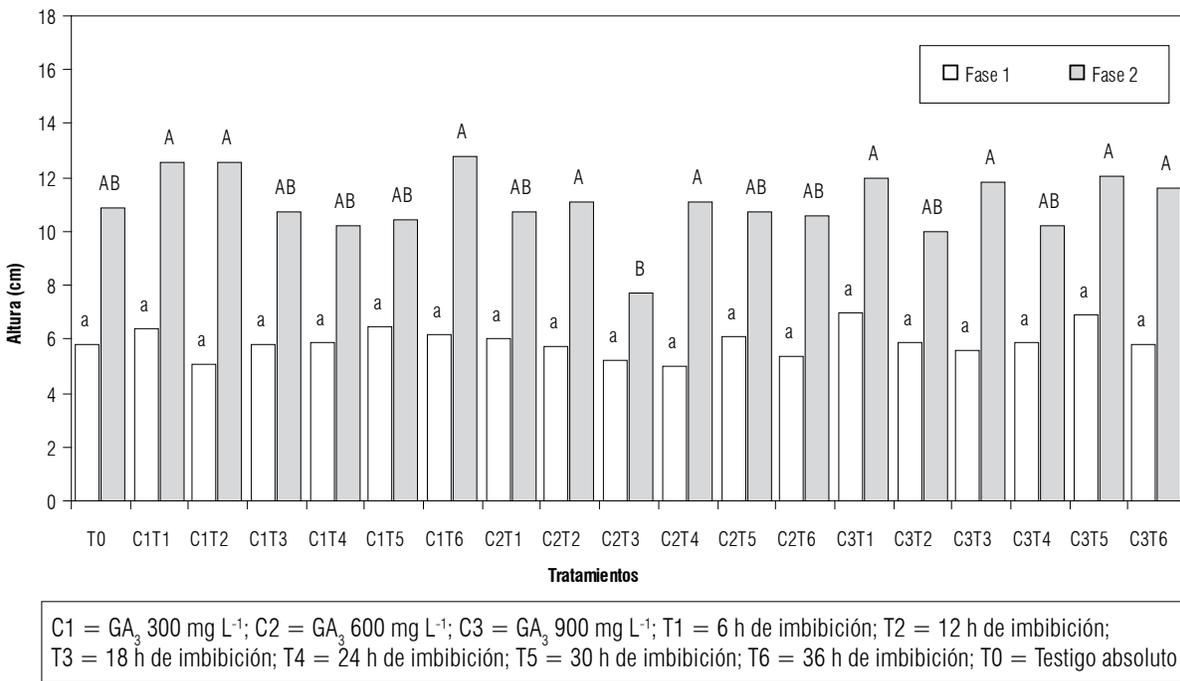
El tratamiento de 36 h de imbibición y 300 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub> presentó diferencias significativas con los demás tratamientos en la primera fase. La menor longitud de raíz la arrojó el tratamiento de 24 h de imbibición y 300 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub>. No se encontraron diferencias para la segunda fase, pero la mayor longitud de raíz se dio con 24 h de imbibición y 600 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub> (45,30 cm), y la menor se produjo en semillas con 12 h de imbibición y 900 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub> (29,76 cm) como se muestra en la Fig. 4.

La elongación celular en raíces está basada en que los microtúbulos (MT) corticales de plantas se pueden reorientar de una configuración transversal (en relación con el eje axial de la célula) a una longitudinal. Esto se logra por acción de las giberelinas, que inducen la reorientación de los MT

de forma longitudinal a transversal, en un proceso en el cual algunos crecen mientras otros se contraen (Yuan *et al.*, 1994; Lloyd *et al.*, 1996).

Es así como Barlow *et al.* (1991) encontraron que raíces de mutantes de tomate deficientes en GA<sub>3</sub> presentaron longitud final de las células similar, pero el diámetro de las células corticales maduras fue 20% mayor frente al control, con la adición de 0,1 μM de GA<sub>3</sub>. Estos autores también afirman que las GA endógenas son necesarias para el normal crecimiento de raíces de tomate, y a la vez regulan la tasa de crecimiento longitudinal y transversal de las células, lo cual afecta la forma de elongación de las mismas. Así mismo, Dolan y Davies (2004) afirman que las GA<sub>3</sub> junto con las auxinas promueven la expansión celular de raíces y aumentan la biomasa fresca, y su deficiencia causa un sistema radicular corto.

Sin embargo, en *Lemma minor* la aplicación exógena de GA<sub>3</sub> no promovió la elongación radicular, sino que corroboró con la desorganización de los microtúbulos corticales y posteriormente la inhibió; por tanto, sólo los contenidos endógenos de GA<sub>3</sub> controlaron el crecimiento de raíces por regulación en la elongación celular (Inada y Shimmen, 2000).



**FIGURA 5.** Altura de plantas de tomate expuestas a imbibición y concentraciones de GA<sub>3</sub> en la etapa de semilla. Promedios de la misma serie con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

Lo anterior pone de manifiesto que probablemente las concentraciones de GA<sub>3</sub> evaluadas inhiben en cierto grado el crecimiento radicular, y que la respuesta en crecimiento se debe a concentraciones bajas de GA<sub>3</sub> junto con un mayor tiempo de imbibición.

### Altura de plantas

Como se puede apreciar en la Fig. 5, no se presentaron diferencias en la primera fase, pero la mayor respuesta se logró con 6 h de imbibición y 900 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub>. El menor crecimiento se observó con 12 h de imbibición y 300 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub>. En la fase dos, semillas con 36 h de imbibición y 300 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub> presentaron mayor altura (12,83 cm) frente a la menor (7,7 cm) generada con 18 h de imbibición y 600 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub>.

La altura de las plantas de tomate está directamente relacionada con la longitud del tallo. Al respecto, Salisbury y Ross (1994) afirman que la estimulación de la elongación del tallo por acción de las GA se debe a la interacción de tres eventos: el primero consiste en la estimulación de la división celular en el ápice del tallo; el segundo comprende la promoción del crecimiento celular ya que incrementan la hidrólisis del almidón, fructanos y sacarosa, originando moléculas de glucosa y fructosa; y en tercer lugar, se aumenta la plasticidad de la pared celular, aunque no siempre

presentan el mayor diámetro de tallo (Silva *et al.*, 2001). Del mismo modo, puede ocurrir un efecto inhibitorio del crecimiento por exceso del contenido exógeno de GA<sub>3</sub>.

En semillas de *Alnus acuminata* bajo tratamientos de GA<sub>3</sub> no se obtuvieron diferencias significativas en la altura de plantas, pero la mayor concentración (2 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub>) presentó la mayor altura de las plántulas (Araya *et al.*, 2000). También se ha encontrado una mayor altura de plantas por acción de GA en *Helianthus annuus* (Silva *et al.*, 2001).

### Conclusiones

Las plántulas de tomate para el trasplante que presentaron mayor vigor se obtuvieron con la imbibición de las semillas durante 36 h con 300 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub>. Estas plántulas no presentaron luego del trasplante efectos adversos en el crecimiento, pero sí un aumento significativo en la masa fresca y seca, el área foliar y la altura.

### Literatura citada

- Almanza, P. 2000. Fisiología vegetal. Instituto Universitario Juan de Castellanos, Tunja, Colombia.
- Almeida, J.A.S. y M.F. Pereira. 1996. Efeito de GA<sub>3</sub> e paclobutrazol no desenvolvimento vegetativo do girassol. Rev. Bras. Fisiol. Veg. 9(1), 55-60.

- Araya, E., L. Gómez, N. Hidalgo y R. Valverde. 2000. Efecto de la luz y del ácido giberélico sobre la germinación *in vitro* de jaúl (*Alnus acuminata*). Agron. Costarr. 24(1), 75-80.
- Arjona, H., A. Guerrero y C. Prieto. 1998. Estudios de osmoiniciación de semillas de cebolla de bulbo *Allium cepa* L. Agron. Colomb. 15(2), 143-152.
- Azcón-Bieto, J. y M. Talón. 2000. Fisiología y bioquímica vegetal. McGraw Hill/Interamericana, Barcelona, España.
- Barlow, P., P. Brain y J. Sparker. 1991. Cellular growth in roots of a gibberellin-deficient mutant of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) and its wild-type. Plant Cell Physiol. 42(3), 339-351.
- Bultynck, L. y H. Lambers. 2004. Effects of applied gibberellic acid and paclobutrazol on leaf expansion and biomass allocation in two *Aegilops* species with contrasting leaf elongation rates. Physiol. Plant. 122(1), 143-151.
- Burgas, R. y A. Powell. 1984. Evidence for repair processes in the invigoration of seeds by hydration. Ann. Bot. 53, 753-757.
- Chen, F. y K.J. Bradford. 2000. Expression of and expansin is associated with endosperm weakening during tomato seeds germination. Plant Physiol. 124, 1265-1274.
- Chen, F., P. Dahal y K.J. Bradford. 2001. Two tomato expansin genes show divergent expression and localization in embryos during seed development and germination. Plant Physiol. 127, 928-936.
- Chen, F., H. Nonogaki y K.J. Bradford. 2002. A gibberellin-regulated xyloglucan endotransglycosylase gene is expressed in the endosperm cap during tomato seed germination. J. Exp. Bot. 53, 215-223.
- Davies, P. 2004. Plants hormones. Kluwer Academic Publishers, New York.
- Dijkstra, P., H. Reegen y P. Kuiper. 1990. Relation between relative growth rate, endogenous gibberellins, and the response to applied gibberellic acid for *Plantago major*. Physiol. Plant. 79(4), 629-634.
- Dolan, L. y J. Davies. 2004. Cell expansion in roots. Curr. Opin. Plant Biol. 7, 33-39.
- Garrod, J. 1974. The role of gibberellins in early growth and development of sugar beet. Plant Cell Physiol. 25(5), 945-954.
- González, M.L., C. Caycedo, M.F. Velásquez, V. Flórez y M.R. Garzón. 2007. Efecto de la aplicación del ácido giberélico sobre el crecimiento de (*Brassica oleraceae* L.) var. Botrytis DC. Agron. Colomb. 25(1), 54-61.
- Grunzwei, J., H.D. Rabinowitch, J. Katan, M. Wodner y Y. Bental. 1997. Endogenous gibberellins in foliage of tomato (*Lycopersicon esculentum*). Phytochem. 36(5), 811-815.
- Henckel, P.A. 1982. Fisiología de la resistencia de las plantas al calor y a la sequía (en ruso). Nauka, Moscú.
- Inada, S. y T. Shimmen. 2000. Regulation of elongation growth by gibberellin in root segments of *Lemna minor*. Plant Cell Physiol. 41(8), 932-939.
- Kasama, H. y M. Katsumi. 1983. Gibberellin-induced changes in the water absorption, osmotic potential and starch content of cucumber hypocotyls. Plant Cell Physiol. 24(7), 1209-1216.
- Lloyd, C.W., P.J. Shaw, R.M. Warn y M. Yuan. 1996. Gibberellic-acid induced reorientation of cortical microtubules in living plant cells. J. Microsc. 181, 140-144.
- McComb, A. 1966. The stimulation by gibberellic acid of cell wall synthesis in the dwarf pea plant. Ann. Bot. 30, 155-163.
- Métraux, J.P. 1987. Gibberellins and plant cell elongation. pp. 296-317. En: Davies, P.J. (ed.), Plant hormones and their role in plant growth and development. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Moreno, F., G. Plaza y S. Magnitskiy. 2006. Efecto de la testa sobre la germinación de semillas de caucho (*Hevea brasiliensis* Muell.). Agron. Colomb. 24(2), 290-295.
- Nagel, O., H. Konings y H. Lambers. 2001. Growth rate and biomass partitioning of wildtype and low-gibberellin tomato (*Solanum lycopersicum*) plants growing at high and low nitrogen supply. Physiol. Plant 111(1), 33-39.
- Niemann, G., G. Eijkel, H. Konings, J. Pureveen y J. Boon. 1996. Chemical differences between wildtype and gibberellin mutants of tomato determined by pyrolysis-mass spectrometry. Plant Cell Environ. 16(9), 1059-1069.
- Ogawa, M., A. Hanada, Y. Yamauchi, A. Kuwahara, Y. Kamiya y S. Yamaguchi. 2003. Gibberellin biosynthesis and response during Arabidopsis seed germination. Plant Cell 15, 1591-1604.
- Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica S.A., México D.F.
- Silva, M., H. Gámez, F. Zabala, B. Cuevas y M. Rojas. 2001. Efecto de cuatro fitorreguladores comerciales en el desarrollo y rendimiento del girasol. Ciencia UANL 14(1), 69-75.
- Taiz, L. y E. Zeiger. 2002. Plant physiology. 3<sup>rd</sup> ed. Sinauer Associates Inc. Publishers, Sunderland, MA.
- Vichiato, M., M. Vichiato, D.M. Castro, L.F. Dutra y M. Pasqual. 2007. Alongamento de plantas de *Dendrobium nobile* Lindl. com pulverização de ácido giberélico. Ciênc. Agrotec. 31(1), 16-20.
- Yuan, M., P.J. Shaw, R.M. Warn y C.W. Lloyd. 1994. Dynamic reorientation of cortical microtubules, from transverse to longitudinal, in living plant cells. Proc. Natl. Acad. Sci. 91, 6050-6053.