

GIBERELINAS Y 6-BENCILAMINOPURINA EN LA PLANTULACIÓN DE SEMILLAS DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) HÍBRIDO ADRALE RZ F1

GIBBERELLINS AND 6-BENZYLAMINOPURINE ON PLANT SEEDING IN HYBRID TOMATO (*Solanum lycopersicum* L.) ADRALE RZ F1

Catherine Bohórquez-Sandoval¹, Javier G. Álvarez-Herrera², Roger C. Niño-Medina³

Recibido para publicación: Septiembre 5 de 2011 - Aceptado para publicación: Diciembre 22 de 2011

RESUMEN

En Colombia la producción de tomate bajo invernadero ha aumentado en los últimos años, sin embargo, el alto costo de las semillas hace necesaria la implementación de técnicas que favorezcan la germinación de la máxima cantidad de semillas y que las plántulas germinadas tengan gran vigor y buen desarrollo. Se realizó un experimento completamente al azar con dos factores, el primer factor correspondió a la fitohormona con dos niveles (GA_3) y ($GA_4 + GA_7 + 6BAP$) y el segundo a las dosis de la fitohormona, con cuatro niveles (0, 100, 200 y 300 mg kg⁻¹), para un total de ocho tratamientos con cuatro repeticiones, cada unidad experimental estuvo conformada por 20 semillas las cuales fueron sembradas en bandejas con turba como sustrato. Las semillas a las que se les aplicó GA_3 presentaron diferencias significativas con respecto a los tratamientos que recibieron la mezcla de $GA_4 + GA_7 + 6BAP$, ya que las plántulas presentaron mayor masa fresca, masa seca y altura total. También se evidenció que la aplicación de GA_3 influyó en la longitud de raíz, aunque no se presentaron diferencias significativas. El efecto significativo de la aplicación de GA_3 en la altura de las plántulas se observó a partir del día 11 de evaluación. La longitud de raíz se vio afectada principalmente por el efecto de las dosis, pues al aplicar 200 mg kg⁻¹ de GA_3 presentó los mayores valores. Las plántulas de tomate sometidas a una dosis de 200 mg kg⁻¹ de GA_3 fueron las más vigorosas.

Palabras clave: fitohormonas, propagación, semilleros, hortalizas.

¹Ingeniero Agrónomo, Grupo de Investigaciones Agrícolas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja. E-mail: catebo_17@yahoo.es

²Profesor Asistente, Grupo de Investigaciones Agrícolas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja. E-mail: jgalvarezh@gmail.com

³Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja. E-mail: camilo12355@hotmail.com

ABSTRACT

In Colombia, the greenhouse tomato production has increased in recent years, nevertheless, the high cost of seeds makes necessary to implement techniques which increases the maximum quantity of germinated seeds and that the seedlings have more vigor and a good development. A completely randomized factorial experiment was conducted with two factors, the first factor corresponded to the hormone levels (GA_3) and ($GA_4 + GA_7 + 6BAP$) and the second factor, the doses of the phytohormone, with four levels (0, 100, 200 and 300 mg kg^{-1}), for a total of eight treatments with four replicates, each experimental unit consisted of 20 seeds that were planted in plots with peat as substrate. The seeds that received the application of GA_3 presented significant differences with the seeds that were under the application of $GA_4 + GA_7 + 6BAP$ because the seedlings had a higher fresh mass, dry mass and total height. The application of GA_3 also influenced root length, but this difference was not significant. The significant effect of GA_3 application on the seedling height was observed from day 11 of evaluation. The root length was affected mainly by the effect of doses, when 200 mg kg^{-1} of GA_3 was applied, it showed the highest values. The dose of 200 mg kg^{-1} of GA_3 makes the tomato seedlings more vigorous.

Key words: phytohormones, propagation, seedbeds, vegetables.

INTRODUCCIÓN

El tomate es uno de los cultivos más importantes en todo el mundo (Chapagain y Wiesman 2004). En Colombia, la producción de tomate bajo invernadero ha aumentado en los últimos años, para el año 2008, la producción alcanzó $455,623 \text{ t año}^{-1}$ (Agronet 2011). Debido a los altos costos de las semillas de tomate, es necesario que la mayor cantidad de semillas germinen, por lo que el uso de fitoreguladores toma importancia ya que estos favorecen la germinación (Balaguera- López, et al. 2009b).

La aplicación de fitohormonas reguladoras del crecimiento como las giberelinas se ha constituido en un tratamiento químico eficaz con el fin de incrementar los porcentajes de germinación de semillas (Salisbury y Ross 1994). El ácido giberélico (GA_3) aplicado en concentraciones óptimas de 10 mg L^{-1} incrementa la división celular de diferentes tejidos vegetales (Makarem y Alldridge 1969). Las giberelinas presentes en el embrión y

el escutelo estimulan la síntesis de enzimas hidrolíticas, principalmente de α -amilasas, las cuales degradan el almidón y los azúcares, los cuales son absorbidos por la plántula en crecimiento, el GA_3 promueve directamente la síntesis de α -amilasa, lo que activa la transcripción de los genes que codifican para dichas proteínas (Sponsel y Hedden 2004).

Las giberelinas componen un grupo de fitohormonas con una estructura molecular básica de 19 o 20 carbonos, son derivadas de cuatro unidades isoprenoides que forman una estructura diterpénica con cuatro anillos. La giberelinas están involucradas en muchos procesos metabólicos durante distintas etapas del desarrollo vegetal, tales como la germinación de semillas, el crecimiento del tallo, la inducción floral, el desarrollo de polen y el crecimiento del fruto (Sponsel y Hedden 2004). Existen muchos tipos de giberelinas, pero la más usada comercialmente es el ácido giberélico (GA_3) que es aplicado exógenamente. Existen muchos estudios sobre

la estimulación de la germinación mediante el uso de giberelinas GA_3 en semillas de tomate (Woodger et al. 2004; Balaguera-López et al. 2009a; Balaguera-López et al. 2009b).

Según Abou-Quad (2007), el ácido giberélico (AG) posee más de un sitio de acción en la estructura de la semilla y está directamente relacionado con la terminación de la latencia del embrión, así como con la reanudación del abastecimiento del endospermo; existe evidencia de que altera la membrana celular incrementando su permeabilidad. El GA_4 y GA_7 están clasificados dentro del grupo de giberelinas que presenta mayor actividad biológica junto al GA_3 . El GA_4 participa activamente en el crecimiento del tallo de *Lolium multiflorum* (Sponsel y Hedden 2004) y retarda la senescencia de las hojas en *Alstroemeria hybrida* (Gan 2004). La aplicación en *Pinaceae* de la mezcla de GA_4 y GA_7 ha tenido un efecto positivo en inducción del cono floral (Kong et al. 2008; Pharis 1991).

Las citoquininas también están involucradas en el crecimiento y desarrollo de la plantas, pues están involucradas en procesos de división celular, retardo de la senescencia, regulación de la dominancia apical y transmisión de señales nutricionales (Sakakibara 2004) e inducen la formación de raíces en las plantas, esto permite mantener un buen sistema radicular y disminuye el estrés que sufre la planta al momento del trasplante (Azcón-Bieto y Talón 2002).

Las citoquininas naturales conocidas son derivadas de la base púrica-adenina (6-aminopurina). Todas ellas poseen un sustituto de naturaleza isoprenoide o aromático, en el

nitrógeno amínico de la posición seis del anillo de purina. Las citoquininas pueden encontrarse en las plantas como bases libres o formando conjugados con diversos compuestos químicos que se unen al anillo de purina, las principales formas son nucleósidos (ribósidos y ribótidos), glucósidos, alanilderivados y metiltiorderivados (Sakakibara 2004; Azcón-Bieto y Talón 2002; Salisbury y Ross 1994). La aplicación de 6-Bencilaminopurina (6BAP) en explantes de *Heliconia standley* 'Macbride' indujo un mayor crecimiento de raíces y vigor en las plantas obtenidas (Sosa-Rodríguez et al. 2009), así mismo, Cárdenas-Hernández et al. (2010) al aplicar una concentración de 10 mg L^{-1} de 6BAP en explantes de cacao (*Theobroma cacao* L.) encontraron un mayor diámetro y longitud del injerto, lo que mejoró el prendimiento de las yemas de cacao.

De lo anterior, se resalta el efecto que tiene la aplicación de giberelinas y citoquininas en el desarrollo de las plántulas, lo que puede probablemente afectar el proceso de germinación del tomate y su crecimiento. En el cultivo de tomate el alto costo de las semillas hace necesario la implementación de técnicas que favorezcan la germinación de la máxima cantidad de semillas en el menor tiempo posible, con el fin de que las plantas obtenidas sean de gran vigor y presenten un buen desarrollo (Balaguera-López et al. 2009b). Si este proceso no se logra con éxito genera un incremento directo en los costos de producción para los agricultores.

Por tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes dosis de giberelinas GA_3 , GA_4 , GA_7 y 6BAP en la germinación de semillas de tomate.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó bajo condiciones de invernadero en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, sede Tunja, la cual se encuentra a una altitud de 2782 msnm y tiene las siguientes coordenadas: longitud 73° 23' Oeste, latitud 5° 32' Norte; La temperatura interior promedio dentro del invernadero fue de 18°C y la humedad relativa (HR) promedio del 75%. Los análisis de laboratorio fueron efectuados en los laboratorios de Suelos y Fisiología vegetal de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Sede Tunja.

Se realizó un diseño completamente al azar en arreglo factorial con dos factores, el primer factor fue la aplicación de un regulador de crecimiento con dos niveles (ácido giberélico (GA₃) y la combinación de reguladores de crecimiento (CRC) compuesta por GA₄, GA₇, 6BAP, y el segundo factor correspondió a cuatro dosis (0, 100, 200 y 300 mg kg⁻¹) para un total de ocho tratamientos con cuatro repeticiones lo que generó 32 unidades experimentales (UE), cada unidad experimental constó de 20 semillas. Se utilizaron semillas de tomate del Híbrido Adrale RZ F1 de la Compañía Agroindustrial de Semillas, estas fueron embebidas durante 5 min en una solución de GA₃ y CRC en las dosis mencionadas.

Las semillas de tomate se sembraron en bandejas de plantulación de semillas, y se usó turba rubia canadiense como sustrato, luego de la emergencia, se tomaban diariamente datos del número de semillas germinadas por día, altura de plántula desde la base del tallo y hasta la hoja apical. Se calculó el índice de velocidad de germinación (IVG), tiempo

medio de germinación (TMG) y porcentaje de germinación (PG) de acuerdo a la metodología propuesta por Ranal y Santana (2006). Una vez las plantas estaban listas para el trasplante (33 días después de la siembra, se sacaron las plántulas de las bandejas de germinación y se procedió a tomar la longitud de raíz, masa fresca (MS) y se pusieron en una mufla a 70°C por dos días, luego de esto se sacaron para tomar masa seca (MS), con una balanza electrónica Acculab VIC 612 de 0,01 g de precisión.

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (Anova). Para determinar la posible existencia de diferencias significativas entre tratamientos se realizó la prueba de Tukey al 5% empleando el programa estadístico SAS v. 8.1e (Cary N.C).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de plántula final

Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los efectos de las fitohormonas aplicadas para la variable altura de plántula, donde el tratamiento con GA₃ midió 8,3 cm; mientras CRC midió 7,4 cm (Figura 1). Las dosis aplicadas no presentaron efectos con diferencias significativas estadísticas en la altura final de plántula, por lo que se puede mencionar que la altura de la planta se vió afectada principalmente por la aplicación de GA₃ y no por la aplicación de CRC, al respecto Azcón-Bieto y Talón (2002) afirman que la elongación del tallo está medida por el control fotoperiódico del metabolismo de las giberelinas, cuando estas se aplican en el momento adecuado y con la concentración apropiada, hacen que las plántulas de tomate

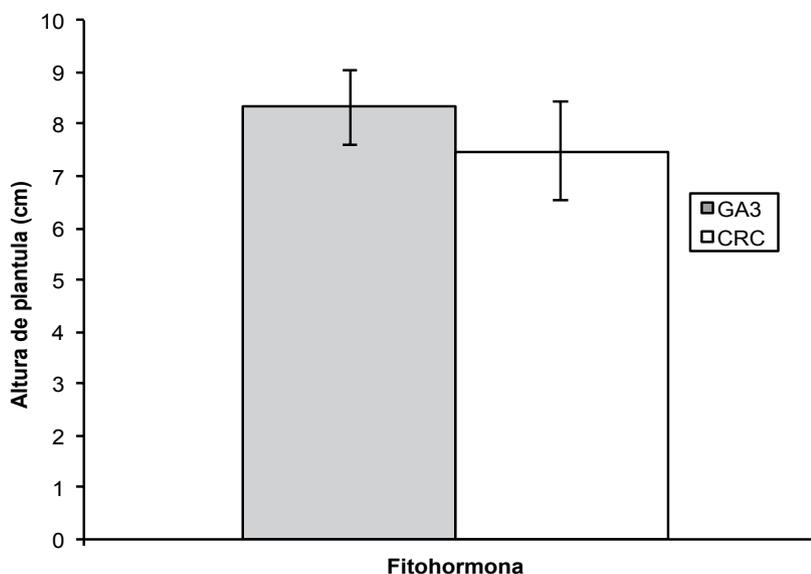


Figura 1. Efecto de la aplicación de diferentes reguladores de crecimiento, ácido giberélico (GA₃) y combinación de reguladores en crecimiento (CRC) (GA₄ + GA₇ y 6BAP) sobre la altura de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a los 33 días después de la siembra. Promedios con letras distintas son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

tengan mayor longitud debido a que promueven la elongación entrenudos (Balaguera-López et al. 2009a).

Según Bertolini et al. (2007), con un tratamiento de 6BAP no hubo ningún efecto en cuanto al crecimiento de plantas de *Phalaenopsis*, lo que es acorde a lo encontrado cuando se aplicó CRC, ya que este no incrementó la altura de la planta. Por el contrario, Cárdenas-Hernández et al. (2010) encontró que al aplicar 6BAP en plántulas de cacao se incrementó la altura de los injertos, así mismo, Paraguay et al. (2010) observaron que la aplicación combinada de ácido giberélico y de 6-Bencilaminopurina en un rango de 0,110 a 0,230 μM y 0,037 a 0,075 μM respectivamente logró un incremento en la altura de planta de espárrago de 11,3% en las plantas tratadas; esto indica, que la aplicación de GA₃ puede lograr un incremento significativo en la altura de plántula; del mismo modo aunque no hubo diferencias

significativas entre las dosis, la tendencia marcó que la mejor dosis fue la de 200 mg kg⁻¹ con un promedio de altura de planta de 8,28 cm, seguido por la dosis control de 0 mg kg⁻¹ con un promedio de 7,87 cm, y los valores más bajos se presentaron con la dosis de 300 mg kg⁻¹ con un promedio de 7,57 cm.

La altura de plántula se evaluó durante 23 días a partir de la emergencia de la plántula, momento en el cual las plantas estaban listas para el trasplante. Se presentaron diferencias significativas para la interacción entre dosis y tipos de giberelinas. En la Tabla 1 se muestra la prueba de comparación de Tukey para dosis en la cual se aprecia que no hubo diferencias estadísticas para la altura de planta medida diariamente en relación con las dosis de 0, 100, 200 y 300 mg kg⁻¹ de las hormonas aplicadas. Sin embargo, las dosis de 100 y 200 mg kg⁻¹ registraron los mayores promedios de crecimiento.

Tabla 1. Altura promedio de plántula (cm) en relación con las diferentes dosis de fitohormonas durante 23 días después de germinación.

Días	Dosis de fitohormonas (ppm)			
	0	100	200	300
1	2,20 a	1,00 a	0,40 a	0,30 a
2	0,80 b	1,42 a	1,04 ab	1,00 b
3	0,95 b	1,90 a	1,20 b	1,20 b
4	2,21 a	1,98 a	2,18 a	1,78 a
5	2,28 a	2,02 a	2,18 a	1,98 a
6	2,03 a	2,26 a	2,20 a	2,06 a
7	2,44 a	2,56 a	2,43 a	2,34 a
8	2,89 a	3,11 a	3,00 a	2,89 a
9	3,38 a	3,64 a	3,44 a	3,40 a
10	3,63 a	4,14 a	3,88 a	3,78 a
11	3,99 a	4,70 a	4,42 a	4,07 a
12	4,49 a	4,97 a	4,83 a	4,42 a
13	4,61 a	5,19 a	5,10 a	4,63 a
14	4,91 a	5,09 a	5,37 a	4,79 a
15	5,33 a	5,44 a	5,81 a	5,27 a
16	5,46 a	5,60 a	6,01 a	5,45 a
17	5,69 a	5,82 a	6,17 a	5,59 a
18	5,91 a	6,04 a	6,44 a	5,72 a
19	6,17 a	6,23 a	6,67 a	5,92 a
20	6,33 a	6,48 a	6,84 a	6,09 a
21	6,47 a	6,72 a	7,01 a	6,33 a
22	6,71 a	6,96 a	7,26 a	6,54 a
23	7,18 a	7,38 a	7,71 a	6,96 a

Promedios con letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas entre tratamientos por día según la prueba de Tukey ($P \geq 0,05$). Promedios de ocho repeticiones y 20 semillas por repetición.

En cuanto a la aplicación del factor fitohormona, se presentan diferencias estadísticas significativas entre el GA₃ y el CRC en función del crecimiento diario de plántulas. El ácido giberélico (GA₃) presenta las mejores repuestas. La prueba de Tukey reporta diferencias significativas a partir del día 11 y hasta el día 23 con una diferencia entre fitohormonas del 15%, la altura final

para el GA₃ y CRC fue de 7,89 y 6,72 cm respectivamente. Consecuentemente, se sabe que algunas características de la elongación del tallo son inducidas por las giberelinas, estas aumentan tanto el alargamiento de las células y la división celular, como lo demuestra el aumento de longitud de la célula y el número de células en respuesta a las aplicaciones de giberelina (Taiz y Zeiger 2002), y el aumento en los entrenudos de las plántulas de tomate (Balaguera-López et al. 2009a).

Masa fresca y masa seca

Los resultados muestran un incremento significativo en la masa fresca cuando se aplicó GA₃ produciendo una masa fresca de 0,38 g en comparación con la aplicación de CRC, la cual reportó 0,30 g (Figura 2a). Esto podría indicar que la aplicación de GA₃ puede lograr un incremento significativo en la masa fresca de las plántulas de tomate, lo que probablemente le generará un mayor vigor. Del mismo modo, Balaguera-López et al. (2009a) en semillas de tomate con 36 h de imbibición y 300 mg L⁻¹ de ácido giberélico (GA₃) obtuvo plántulas de mayor tamaño y con un gran vigor en el postrasplante. Igualmente, Kasama y Katsumi (1983) encontraron que la aplicación de GA₃ (100 µM) incrementó la masa fresca y la elongación de hipocótilos de *Cucumis sativus*, dado que el potencial osmótico de las células epidermales fue más bajo que el control, lo que sugiere que el papel de las giberelinas (GA) en la elongación celular se debe a relaciones de control hídrico en la célula, lo que podría explicar el porqué el ácido giberélico (GA₃) mostró los mejores resultados para la variable masa fresca.

Aunque no hubo diferencias significativas en

el Anova para las dosis de giberelinas, la que mejor efecto tuvo sobre la masa fresca fue la dosis de 100 mg kg⁻¹ con un promedio de 0,40 g, seguido por el control con un promedio de 0,341 g y en último lugar la dosis de 300 mg kg⁻¹ con un promedio de 0,07 g; es decir que la masa fresca presentó un buen comportamiento cuando se aplica GA₃ en dosis de 100 mg kg⁻¹.

En cuanto a la variable masa seca, la aplicación exógena de ácido giberélico (GA₃) tuvo mejor comportamiento en relación con el CRC (GA₄ + GA₇ + 6BAP), con valores de 0,043 g y 0,032 g respectivamente como se observa en la figura 2b. 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 (Balaguera-López et al. 2009b) y probablemente un consecuente aumento de la masa seca. También es probable que el contenido endógeno de GA₃ sea insuficiente en las semillas de tomate para estimular la germinación de forma eficiente,

por lo que se produce una respuesta positiva a la aplicación, caso contrario puede ocurrir con la aplicación de CRC, hormonas que dentro de la semilla podrían estar en concentraciones adecuadas.

Aunque no existieron diferencias significativas entre las dosis de las fitohormonas aplicadas, la mejor dosis fue la de 200 mg kg⁻¹ con GA₃ con un promedio de 0,039 g de materia seca, seguida por la dosis de 300 mg kg⁻¹ con un promedio de 0,038 g, siendo la dosis testigo la que presentó menor promedio de masa seca con un valor de 0,035 g, no obstante, González et al. (2007) encontró que con la aplicación de 125 mg L⁻¹ en la etapa uno y de 5 mg L⁻¹ de GA₃ en la etapa 2, la acumulación de masa seca en el tallo de coliflor fue significativa (*Brassica oleraceae* L. var. Botrytis DC).

Índice de velocidad de germinación (IVG)

De acuerdo con el análisis de varianza, no se encontraron diferencias significativas en

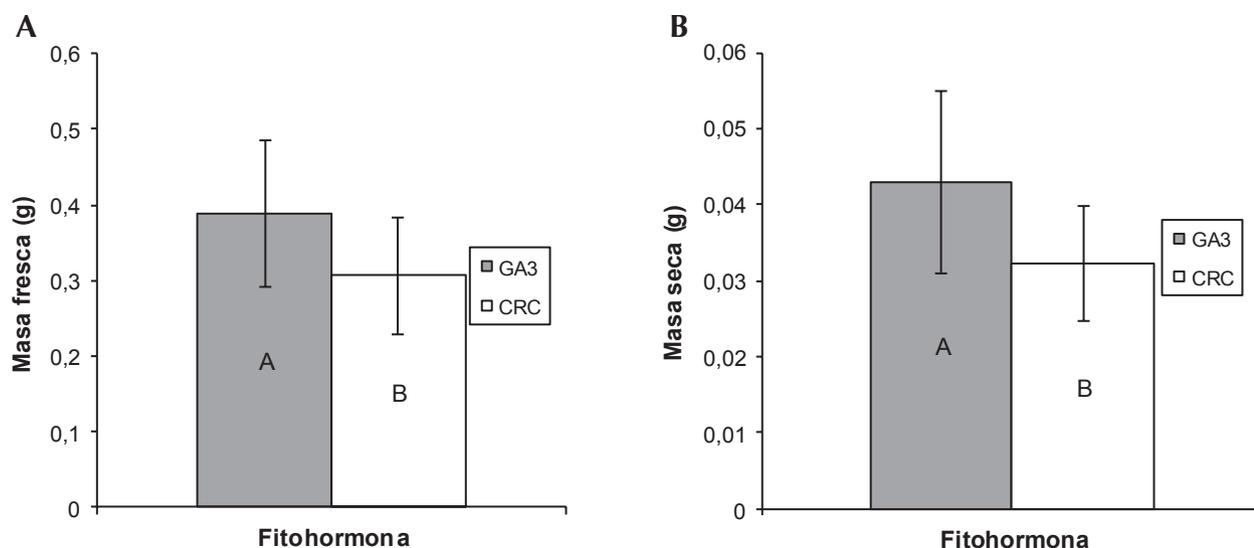


Figura 2. Efecto de la aplicación de diferentes fitohormonas, ácido giberélico (GA₃) y CRC (Combinación de reguladores de crecimiento (GA₄ + GA₇ y 6BAP)) sobre: (A) la masa fresca y (B) masa seca de plántulas tomate (*Solanum lycopersicum*) a los 33 días después de la siembra. Promedios con letras distintas son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

relación a los factores dosis y giberelinas, ni tampoco entre niveles de los factores. Sin embargo, la aplicación de la CRC presentó un IVG con un promedio de 0,345, mientras que la aplicación de GA_3 obtuvo un IVG de 0,33; Así mismo, en lo que respecta a las dosis la que mas tuvo influencia en el IVG fue la de 300 mg kg^{-1} con un promedio de 0,3708 g. Los valores obtenidos de IVG son bajos comparados con los obtenidos por Balaguera-López et al. (2009b) de 1,02.

Generalmente, la acción de los grupos funcionales de las sustancias orgánicas incrementan la velocidad de germinación al actuar directamente en la multiplicación celular, debido a la aceleración de la actividad enzimática, la cual se encarga de la conversión del almidón en azúcares lo que aumenta la longitud de la plúmula al acelerar el proceso de respiración, esto redundando en la intensificación del metabolismo e induce la proliferación de la raíz, al acelerar el proceso de respiración, aumenta la permeabilidad celular y la estimulación hormonal, con lo cual la longitud de la plúmula aumenta (Copeland 1976).

Según Arce et al. (2007), al evaluar semillas de sotol (*Dasyllirion cedrosasanum* Trel.), los tratamientos con una concentración de 0,05 mg y 0,01 mg de extractos secos de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) obtuvieron los mayores índices de velocidad de germinación (IVG) de 12,1% y 12,05%, en los cuales las semillas germinaron más rápido, estos extractos podrían tener un alto contenido de GA_3 .

Tiempo medio de germinación (TMG)

El análisis de varianza para la variable TMG no presentó significancia para ninguno de los

dos factores evaluados, no obstante se aprecia que el efecto del factor fitohormona fue mayor que el efecto de las dosis. El promedio de TMG para CRC es de 15,11 días y para la aplicación de GA_3 fue de 13,94, pero no son significativamente diferentes; sin embargo, se podría decir que el mejor tratamiento es el de GA_3 con promedio de 13,94 días con una dosis de 200 mg kg^{-1} , lo que demuestra un leve efecto de la aplicación de giberelinas en la disminución del tiempo de emergencia de las semillas de tomate.

De acuerdo a lo anterior, similares resultados se reportan en el TMG en semillas de papaya el cual se redujo de manera significativa a 10 días cuando las semillas que fueron tratadas con GA_3 , *Azospirillum brasilense*, *Glomus intraradices* + *Azospirillum brasilense*, y el tratamiento testigo en comparación con los demás tratamientos que reportaron valores desde 12 días en promedio (Constantino et al. 2010). El TMG de las semillas de *Peonia broteroi* fue bajo para períodos de almacenamiento de 5 y 9 meses, ya que la aplicación de GA_3 favoreció notablemente la germinación y disminuyó el TMG, el menor valor se presentó con la dosis de 250 mg kg^{-1} (Peñapareja et al. 2007).

Porcentaje de germinación (PG)

El porcentaje de germinación de semillas de tomate de acuerdo con el análisis de varianza no presentó diferencias significativas entre fitohormonas ni entre dosis. Los valores de PG para las dosis de 300, 200, 100 y 0 mg kg^{-1} fueron 55,62%, 53,12%, 52,5% y 41,8% respectivamente; para CRC fueron de 51,87% y GA_3 de 49,68%. No obstante, se puede inferir que la concentración de GA_3 de 300

mg kg⁻¹ mostró el mayor PG, lo que indica el efecto estimulante de las giberelinas en la germinación. Del mismo modo, en semillas de tomate, Ni y Bradford (1993) afirman que la dormancia sería controlada por el balance entre giberelina y ácido absísico, de manera que los dos actuarían promoviendo e inhibiendo respectivamente la síntesis de enzimas necesarias en el proceso de germinación de semillas de tomate.

Según Magnitskiy y Ligarreto (2007) en semillas de agraz con imbibición en soluciones de 500 mg L⁻¹ de ácido giberélico éste aumento el porcentaje de germinación al día 35 en 32% para semillas almacenadas extraídas y 38% para semilla almacenadas en ruta comparable con el testigo. Así mismo, semillas de roble presentaron mayor PG a la inmersión en solución de giberelina, en dosis de 25 mg kg⁻¹ durante 15 ó 30 horas (Rocuant 1984). Balaguera-López et al. (2009b) al aplicar 900 mg L⁻¹ de GA₃ en tomate híbrido Daniela, lograron aumentar significativamente el porcentaje de germinación.

Relación de variables

De acuerdo a la figura 3, se puede evidenciar que las variables longitud de planta, masa fresca, masa seca, y longitud de raíz, están directamente relacionadas, es decir que si una aumenta, las demás también se ven afectadas, lo que indica que las variables de crecimiento son directamente proporcionales. Para el caso de las variables, IVG, TMG y PG estas presentan una correlación positiva entre sí, pero no presentan correlación alguna con las variables de crecimiento, similar a los encontrado por Hall y Wiesner (1990) quienes también encontraron que existe correlación

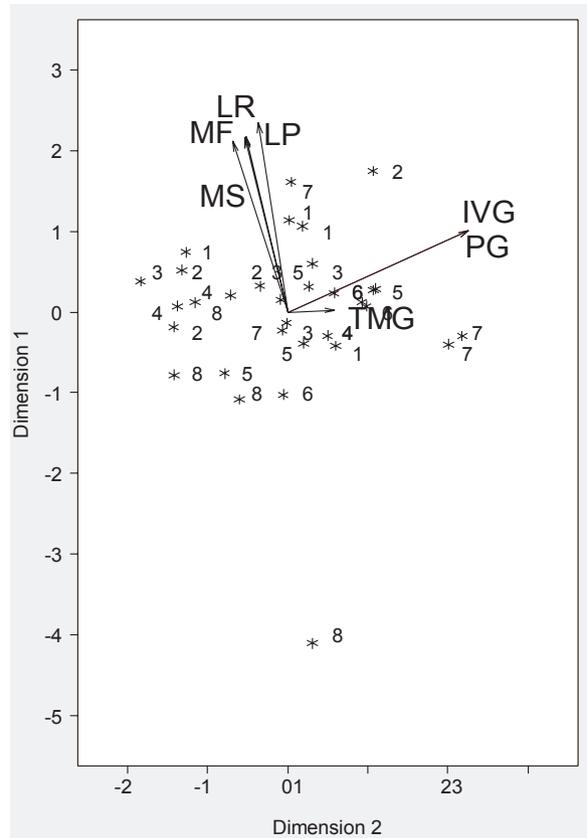


Figura 3. Correlación lineal de variables medidas en la propagación de semillas del híbrido Adrale RZ F1 sometidas a la aplicación de giberelinas y 6-bencilaminopurina en la plantulación de semillas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). MF: masa fresca; MS: masa seca; LR: longitud de raíz; LP: altura de plántula; PG: porcentaje de germinación; TMG: tiempo medio de germinación; IVG: índice de velocidad de germinación.

entre la germinación estándar y la emergencia total en semilla de pasto *Bromus biebersteini*.

No obstante, según Solís et al. (2010), en germinación de semillas de maíz se observan correlaciones positivas entre porcentaje de emergencia (PEM) e Índice de Velocidad de Emergencia (IVE) de 0,6, entre PG e IVE de 0,3 y entre PG y PEM de 0,4 para tamaños de muestra de 50, 75 y 100 semillas por repetición,

lo que indica que a mayor PG mayor es el vigor de semilla, expresado por el IVE y el PEM en los genotipos de maíz.

CONCLUSIONES

La aplicación de GA₃ en dosis de 200 mg kg⁻¹ en semillas de tomate híbrido Adrale RZ F1 incrementó en un 12% la altura de las plántulas y en un 34% la masa seca; mientras que la masa fresca se incrementó en un 26% cuando las semillas se trataron con 100 mg kg⁻¹ de GA₃. Estos resultados implican que la aplicación de fitohormonas mejora la calidad de las plántulas de tomate obtenidas en germinación y disminuye las pérdidas de material vegetal en el trasplante.

REFERENCIAS

- Abou-Quad, H. 2007.** Effect of scarification, gibberellic acid and scarification on seed germination of three *Pistacia species*. A-Njah Univ. J. Res. (N. Sc.) 21:1-11.
- Agronet, 2011.** Evaluaciones Agropecuarias Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. <http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/ReportesAjax/VerReporte.aspx> [14 de junio de 2011].
- Arce, L., Valdés, J., Valdes, A., Gallegos, A. y Padilla, G. 2007.** Pruebas de germinación en semillas de sotol (*Dasyllirioncedrosasanum* Trel.) utilizando extractos secos de lechuguilla (Agave lechuguilla Torr.) bajo condiciones de laboratorio. En: <http://www.uaaan.mx/DirInv/Rdos/Zaridas/sotol01.pdf> [24 de julio de 2011].
- Azcón-Bieto, J. y Talón, M. 2002.** Fundamentos de fisiología vegetal. Auxinas, Giberelinas, Citoquininas. México. p305-343.
- Balaguera-López, H., Cárdenas-Hernández, J. y Álvarez-Herrera, J. 2009b.** Effect of gibberellic acid (GA₃) on seed germination and Growth of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Acta Horticulturae 821:141-145.
- Balaguera-López, H., Deaquiz, Y. y Álvarez-Herrera, J. 2009a.** Plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) provenientes de semillas embebidas en diferentes soluciones de giberelinas (GA₃). Agronomía Colombiana 27(1):57-64.
- Bertolini, V., Carrillo-Castañeda, G., González-Camacho. 2007.** Biofertilización y hormonas vegetales en la sobrevivencia y crecimiento de plántulas de *Phalaenopsis (orchidaceae)* producidas *in vitro*. Revista Científica Electrónica de Engenharia Florestal 10:1-14.
- Cárdenas-Hernández, J., Álvarez-Herrera, J., Barragán, E. y Rivera, C. 2010.** Efecto del ácido giberélico y la 6-Bencilaminopurina sobre el desarrollo de yemas en injertos de cacao (*Theobroma cacao* L.). Agronomía Colombiana 28(1):19-27.
- Chapagain, P. y Wiesman, Z. 2004.** Effect of potassium magnesium chloride in the fertigation solution as partial source of potassium on growth, yield and quality of greenhouse tomato. Scientia Hort. 99:279-288.

- Constantino, M., Gómez-Álvarez, R., Álvarez-Solís, J., Pat-Fernández, J. Espín, G. 2010.** Efecto de la biofertilización y los biorreguladores en la germinación y el crecimiento de *Carica papaya* L. Revista Colombiana de Biotecnología 12(2):103-115.
- Copeland, L. 1976.** Principles of the seed science and technology. Burgess Publishing Company. Minneapolis, Minnesota, USA. p369.
- Gan, S. 2004.** The hormonal regulation of senescence. En Davies, P.J. (Ed). Plant hormones Biosynthesis, signal transduction, action!. Kluwer Academic Publishers, p561-581.
- González, M., Caycedo, C., Velásquez, M., Flórez, V. y Garzón, M. 2007.** Efecto de la aplicación del ácido giberélico sobre el crecimiento de coliflor (*Brassica oleraceae* L.) var. Botrytis DC. Agronomía Colombiana 25(1):54-61.
- Hall, R. y Wisner, L. 1990.** Relationship between seed vigor tests and field performance of the "Regar" Meadow Bromegrass. Crop Science. 30:967-970.
- Kasama, H. y Katsumi, M. 1983.** Gibberellin-induced changes in the water absorption, osmotic potential and starch content of cucumber hypocotyls. Plant Cell Physiology 24(7):1209-1216.
- Kong, L., Abrams, S., Owen, S., Graham, H. y Von Aderkas, P. 2008.** Phytohormones and their metabolites during long shoot development in Douglas-fir following cone induction by gibberellin injection. Tree Physiology 28:1357-1364.
- Magnitskiy, S. y Ligarreto, G. 2007.** El efecto del nitrato de potasio, el ácido giberélico y el ácido indolacético sobre la germinación de las semillas de agraz. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas 1(2):137-141.
- Makarem, E. y Alldridge, N. 1969.** The effect of gibberellic acid on *Hansenula wingei*. Canadian Journal Microbiology 15(10):1225-1230.
- Ni, B. y Bradford, K. 1993.** Germination and dormancy of abscisic acid- and gibberellin-deficient mutant tomato (*Lycopersicon esculentum*) seeds (Sensitive of germination to abscisic acid, gibberellin, and water potential). Plant Physiology 101(2):607-617.
- Paraguay, J., Bardales, C., León, C., Rodríguez, C. y Linares, G. 2010.** Incremento del área foliar de *Asparagus Officinalis* L. Cv. UC 157 F1 "espárrago" mediante la aspersión de Giberelina (AG3) y 6 - Bencilaminopurina (6 - BAP). Sientia Agropecuaria 1(3-4):191-196.
- Pharis, R. 1991.** Physiology of gibberellins in relation to floral initiation and early floral differentiation. En: Takahashi, N., Phinney, B.O. y MacMillan, J. (Eds). Gibberellins. Springer-Verlag, Heidelberg. p166-178.

- Peñapareja, D. Sánchez-Gómez, P., López, J., González, A., Franco, J. y Fernández, J. 2007.** Influencia de la aplicación de ácido giberélico y el tiempo de almacenamiento en la germinación de *Peonia broteroi*. *Actas de Horticultura. Sociedad Española de Ciencias Hortícolas* 48(2):17-24.
- Ranal, M. y Santana, D. 2006.** How and why to measure the germination process?. *Revista Brasileira de Botânica* 29(1):1-11.
- Rocuant, L. 1984.** Efecto de giberelina y de tiourea en la germinación de semillas: especies del genero *Nothofagus*. *Bosque* 5(2):53-58.
- Sakakibara, H. 2004.** Cytokinin biosynthesis and metabolism. En: Davies, P.J. (Ed.) *Plant hormones Biosynthesis, signal transduction, action!*. Kluwer Academic Publishers, pg95-114.
- Salisbury, F. y Ross C. 1994.** Respuestas del crecimiento a la temperatura. *Fisiología vegetal*. Grupo Editoriales Iberoamérica. México. p534-559.
- Solís, J., Vargas, J., Peña, M. y Romero, A. 2010.** Índice de velocidad de emergencia en líneas de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3:289-304.
- Sosa-Rodríguez, F., Ortíz, R., Hernández, R., Armas, P. y Guillen, D. 2009.** Propagación in vitro de *Heliconia standley Macbride* en cuba. *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 15(2):17-23.
- Sponsel, V. M. y Hedden, P. 2004.** Gibberellin biosynthesis and inactivation. En: Davies, P.J.(Ed) *Plant hormones Biosynthesis, signal transduction, action!*. Kluwer Academic Publishers. p63-94.
- Taiz, L. y Zeiger, E. 2002.** *Plant physiology*. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, Massachusetts. 3a Edición.
- Woodger, F., Jacobsen, J. y Gubler, F. 2004.** Gibberellin action in germinated cereal grains. En: Davies, P.J. (Ed) *Plant hormones Biosynthesis, signal transduction, action!*. Kluwer Academic Publishers. p221-240.