

## PRODUCCIÓN DE PLANTAS DE TOMATE Y CHILE APLICANDO PACLOBUTRAZOL AL FOLLAJE

### Production of tomato and pepper plant applying paclobutrazol on foliage

TJ Velázquez-Alcaraz, L Partida-Ruvalcaba ✉, B Acosta-Villegas, F Ayala-Tafoya

(TJVA, LPR, BAV, FAT) Facultad de Agronomía-UAS Carretera Culiacán-Eldorado km 17.5, CP 80000, Culiacán, Sinaloa  
parpolo@yahoo.com.mx

**Artículo recibido:** 14 de junio de 2006, **aceptado:** 11 de marzo de 2008

**RESUMEN.** Esta investigación se hizo para determinar el efecto que produce el paclobutrazol (PBZ) en la altura de plantas de chile, conocer las dosis más adecuadas para retardar crecimiento y producir plantas que por su baja altura resistan más a fuertes vientos y lluvias después de su trasplante en campo, y establecer la mejor etapa fenológica de tomate para retardar crecimiento. La siembra de chile fue hecha el 8 de octubre y la de tomate el 30 de noviembre de 2003, en charolas de poliestireno con 200 cavidades. Las unidades experimentales incluyeron 30 plantas, excepto el testigo que tuvo las 20 restantes en la charola. Los tratamientos fueron 0 (testigo), 100, 150, 200, 250, 300 y 350 mg L<sup>-1</sup> de PBZ. Cada dosis fue aplicada mediante 12 disparos con un atomizador, en plantas de chile con dos hojas verdaderas y en tomate con dos, cuatro y seis hojas. Con cada cultivar se estableció un experimento que fue manejado sólo con los riegos necesarios y una aplicación de 1.15 g N L<sup>-1</sup> de agua. La altura de plantas fue medida desde la base del tallo hasta la yema apical, 23 días después de la aplicación de PBZ. El crecimiento de chile bell y anaheim se retardó con 200 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, en jalapeño con 100 mg L<sup>-1</sup>, en serrano con 100 ó 200 mg L<sup>-1</sup>, y en caribe con 200 ó 250 mg L<sup>-1</sup>. Mientras que en tomate se retardó con 100, 150 ó 200 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, pero sólo en las etapas de dos y cuatro hojas verdaderas.

**Palabras clave:** Retardar, dosis, hojas, variedad, altura.

**ABSTRACT.** This study was carried out to determine the effect of PBZ on the height of pepper plants, to determine the most adequate dosage to retard growth and produce low plants that might better resist strong winds and rain after transplanting in the field, and to establish the ideal stage for tomato plants for retarding growth. Peppers were planted on October 8<sup>th</sup> and tomatoes were planted on November 30<sup>th</sup> 2003 in polystyrene trays with 200 receptacles. Experimental units consisted of 30 plants, except for the control that contained the other 20 on the tray. Treatments were 0 (control), 100, 150, 200, 250, 300 and 350 mg L<sup>-1</sup> of PBZ. Each dosage was applied through 12 shots with a spray, to pepper plants with two true leaves and tomato plants with two, four and six leaves. An experiment was set up for each variety where only the necessary irrigation was provided as well as one application of 1.15 g N L<sup>-1</sup> of water. The height of the plants was measured from the base of the stem to the terminal bud, 23 days after the application of PBZ. Growth was retarded in peppers and Anaheim with 200 mg L<sup>-1</sup>, in jalapeño with 100 mg L<sup>-1</sup>, in serrano with 100 or 200 mg L<sup>-1</sup>, and in caribe with 200 or 250 mg L<sup>-1</sup>. Growth was delayed in tomato with 100, 150 or 200 mg L<sup>-1</sup> of PBZ, but only in the stages of two and four true leaves.

**Key words:** Delay, dosage, leaves, variety, height.

### INTRODUCCIÓN

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y chile (*Capsicum annuum* L.) son las especies hortícolas más cultivadas en México, y en el Estado de Sinaloa se cultivan principalmente tomate bola y saladette en una superficie de 30 000 ha. Entre

los chile bell, jalapeño, serrano, anaheim, caribe y pasilla, los dos primeros han sido, desde 1987, los más importantes en superficie sembrada, ya que en el ciclo agrícola 2003-2004 el primero ocupó 2 435 hectáreas y el segundo 288.

Los retardantes de crecimiento actuales en el mercado son compuestos orgánicos sintéticos que

retrazan la división y alargamiento celular en tejidos del brote en activo crecimiento, sin provocar malformaciones en los tallos o en las hojas (Rojas & Rovalo 1985).

Villegas & Lozoya (1991) manifestaron que los retardantes de crecimiento actúan en la oxidación del kaureno a ácido kaurenico para la producción de giberelinas, de esta forma se reduce la tasa de división y expansión celular, sin el riesgo de causar toxicidad. Las consecuencias morfológicas directas sobre la planta se muestran como una reducción del crecimiento, pero también se manifiesta una estimulación en la producción de flores en algunas especies.

Pisarczyk & Splittstoesser (1979) realizaron estudios sobre la acción de diversos retardantes de crecimiento en plantas de tomate y demostraron que es factible, durante la floración de plantas, retrasar y regular el trasplante, sin ejercer efectos negativos, a través de aplicaciones de cloromequat, daminocida y etefon, retrasando hasta 15 días el trasplante, sin afectar la precocidad de flores y frutos en relación con el testigo.

Los triazoles son extremadamente activos y efectivos para retardar la altura de plantas a muy bajas concentraciones, y son más efectivos cuando se aplican al tallo o a la zona radicular de la planta (Barrett & Bartuska 1982). La estructura del paclobutrazol (PBZ) es [(2RS, 3RS)-1-(4-clorofenil)-4,4-dimetil-2-(1h-1,2,4-triazol-1-il) pentan-3-ol], similar a la del brasinazole. Sin embargo, este último es un potente inhibidor de la biosíntesis del brasinosteroides, que a su vez es una sustancia inductora de enanismo en tomate, chícharo (*Pisum sativum* L.) y *Arabidopsis* sp. y recientemente ha sido clasificada como una nueva clase de fitohormona (Clouse & Sasse 1998).

El paclobutrazol fue descubierto en 1976, es efectivo en un amplio rango de especies vegetales, incluyendo varias plantas bulbosas y leñosas, las cuales no han mostrado sensibilidad a otros retardantes (Roberts & Hooley 1988). El paclobutrazol es un derivado de la pirimidina (McDaniel 1986) que se ha usado para reducir el rompimiento de raíces en plántulas para trasplante y hacerlas más compactas (Hickman et al. 1989). También, este retardan-

te ha sido efectivo en la reducción de la elongación de tallo en muchas especies (Wang & Blessington 1990).

El paclobutrazol ha mostrado reducir la elongación de brotes, la expansión de hojas y el crecimiento en diámetro del tallo en muchas especies de árboles (Burch et al. 1996) y es un activo inhibidor de la biosíntesis del ácido giberélico (Tadao et al. 2000). El paclobutrazol reduce los niveles de giberelina endógena (AG<sub>1</sub>) en células libres del endospermo de *Cucurbita maxima* L. por inhibición de la actividad de la oxidasa del kaureno (Hadden & Graebe 1985), debido a que interactúa con las monooxigenasas del citocromo P450, al bloquear las oxidaciones sucesivas del ent-kaureno a ent-kaurenol, ent-kaurenal y ácido ent-kaurenico, dentro del ciclo del mevalonato, y de esta forma inhibe la síntesis de giberelinas (Azcón 1993) y la elongación celular (Rademacher 2000). El retardante es absorbido pasivamente a través de las hojas, tallos y raíces, translocándose por el xilema hasta los puntos de crecimiento, donde reduce la división celular en la parte subapical al impedir la acción de la giberelina (Early & Martín 1988).

El paclobutrazol es ampliamente usado en la industria hortícola para regular el crecimiento de árboles frutales y ornamentales, pero desafortunadamente los efectos que ocasiona pueden persistir en el suelo, lo cual puede limitar su utilidad como retardante de crecimiento en algunas situaciones (Roberts & Hooley 1988), ya que puede provocar contaminación de mantos freáticos y riesgo potencial de translocación a los frutos. No obstante, dicha residualidad ocurre cuando se hacen aplicaciones consecutivas (Osuna et al. 2001).

Mariscal et al. (1992) encontraron que el PBZ retardó el crecimiento del tallo en hortensia en dosis de 50 mg L<sup>-1</sup> aplicados al follaje en el cultivar Rose Supreme. Asimismo, ellos mencionaron que mediante dos aplicaciones foliares de 50 mg L<sup>-1</sup> de PBZ controlaron el alargamiento de tallo y produjeron plantas de menor altura (37 cm) que plantas no tratadas (50 cm).

Villegas & Lozoya (1991) registraron que el PBZ inhibió el crecimiento de las plantas de nochebuena sin detrimento en el aspecto o diferenciación

floral, en concentraciones de 2.0 y 4.0 mg L<sup>-1</sup>, así como 120 y 160 mg L<sup>-1</sup> de ingrediente activo, en aplicaciones al suelo y follaje, respectivamente. Según Barrett & Bartuska (1982) el efecto que produce el PBZ en la elongación del tallo depende del lugar de aplicación. Por ejemplo, cuando se aplica al follaje no es translocado rápidamente al ápice del brote para pronto limitar el crecimiento, como lo hace cuando se aplica directamente a los tallos.

En dosis de 1.0 mg L<sup>-1</sup> aplicado al suelo o de 25 mg L<sup>-1</sup> en aplicación foliar, el PBZ ha provocado que se reduzca la altura de plantas, se aumente el grosor del tallo y el desarrollo de raíces, se mejore la actividad fotosintética y el balance hídrico y con ello la calidad de plantas para trasplante, y se acelere la formación y cosecha de frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv. 'Precador', sin dejar residuos de PBZ en los frutos (Berova & Zlatev 2000). El remojo de semillas de tomate del cv. 'Sun 6108' con soluciones hasta de 1000 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, tampoco dejó residuos en el fruto ni disminuyó su tamaño, por lo que el remojo de semillas se considera un método promisorio para aplicar el PBZ (Magnitskiy *et al.* 2006).

En plantas de tomate de los cvs. 'Franciset', 'Pavia' y 'Montego', el PBZ redujo el tamaño de plantas hasta 45 %, e incrementó el diámetro de tallo y rendimiento de frutos en 9 y 13 %, respectivamente. No obstante, cuando se aplicó sobre semillas, el PBZ redujo significativamente la emergencia de plantas (Giovinazzo *et al.* 2001). En plantas de tomate cv. "Viradoro", el PBZ ocasionó disminución en altura y peso seco de la parte aérea y raíces, cuando fue aplicado en dosis de 200 mg L<sup>-1</sup>. Aunque tal efecto en altura fue similar al causado por etefón y uniconazole, PBZ fue el que más disminuyó el peso seco de la parte aérea y de raíces, en relación con los tratamientos testigo y etefón (Nascimento *et al.* 2003). También el crecimiento de plantas de tomate de los cultivares "Río Grande", "Maya", "H-9663" y "H-289" se redujo con dosis de 100, 150 ó 200 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, mientras que con dosis mayores (250, 300 ó 350 mg L<sup>-1</sup>) se incrementó con respecto a las plantas testigo (Partida *et al.* 2005).

Plantas de pimiento y berenjena incrementaron su biomasa en la raíz y parte aérea cuando fue-

ron tratadas con la dosis de 150 mg L<sup>-1</sup> de PBZ. En pimientos, el PBZ incrementó en 1.1 veces la longitud de la raíz, 3.7 veces la materia fresca de la raíz, 13 veces la materia seca de la raíz, 1.5 veces la materia fresca de la parte aérea y 6.7 veces la materia seca de la parte aérea. Sin embargo, en las raíces de berenjena se incrementaron 1.3 veces la materia fresca, en 71 % la materia seca y 81 % la materia fresca, mientras que la materia seca de la parte aérea aumentó 89 % (Partida *et al.* 2007).

Dado que el PBZ puede tener propiedades para hacer que las plantas de chile para trasplante sean de menor altura en relación a las que se obtienen a través de un cultivo convencional en condiciones de invernadero o almácigo rústico, los objetivos de esta investigación fueron determinar el efecto que el PBZ ocasiona en la altura de plantas de chile, conocer las dosis más adecuadas para retardar el incremento de la altura, así como conocer las etapas fenológicas del tomate en que se pueden lograr efectos retardantes, lo cual será muy conveniente para que los productores de tomate y chile en el Estado de Sinaloa reduzcan la altura de plantas para trasplante, que por su baja altura resistan más a fuertes vientos y lluvias que suelen presentarse después del trasplante en campo, ya que cultivadas de manera convencional el productor obtiene plantas de mayor altura y más susceptibles a dichos factores ambientales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en condiciones de casa sombra de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa (24° 37' 29" N y 107° 26' 36" O) Sinaloa, México. Seis experimentos independientes por cada cultivar se efectuaron con cultivares de chile: pimiento "California gonder", jalapeño "El Jefe", serrano "Tampiqueño", anaheim "Conquistador" y caribe "NuMex Zuñir", así como el cultivar de tomate "Río Grande" con hábito de crecimiento determinado.

La siembra de chile se hizo el 8 de octubre y la de tomate fue hecha el 30 de noviembre de 2003, en charolas de poliestireno con 200 cavidades, rellenas con turba orgánica (peat moss). En cada cavidad

fueron depositadas tres semillas para después clarear y dejar las plantas más uniformes en términos de nacencia y crecimiento. El cultivo de las plantas y suelo consistió de aplicación de riegos y una fertilización con  $1.15 \text{ g N L}^{-1}$  de agua, utilizando urea como fuente de nitrógeno. Los riegos se realizaron cada tres días hasta la edad de 66 días en chile y de 45, 69 y 93 en tomate.

El diseño experimental que se usó fue el de bloques completos al azar con tres repeticiones, en donde cada unidad experimental constó de 30 plantas distribuidas en tres hileras pequeñas de la charola, excepto el testigo que tuvo las 20 plantas restantes. Los tratamientos aplicados fueron las dosis de 0 (testigo), 100, 150, 200, 250, 300, 350  $\text{mg L}^{-1}$  de paclobutrazol (PBZ). En cada experimento, uno por cultivar, la altura de plantas se midió a los 23 días después de la aplicación del paclobutrazol, desde la base del tallo hasta la yema apical de la misma. Además, en el tomate se evaluó su respuesta al paclobutrazol en base a las etapas fenológicas de dos, cuatro o seis hojas verdaderas, para lo cual fueron seleccionadas diez plantas al azar en cada unidad experimental.

Cada dosis se aplicó sólo una vez con un atomizador manual sobre el follaje sin gotas de agua en la superficie, en plantas de chile con dos hojas verdaderas, en tanto que las de tomate tuvieron dos, cuatro o seis. Durante la aplicación del PBZ las plantas se aislaron con contenedores de cristal (barreras) que rodearon cada unidad experimental y un atomizador se utilizó por tratamiento para no contaminar a las demás.

La solución con el mismo número de disparos (12) del atomizador se asperjó en cada unidad experimental, y se procuró que cada disparo se llevara a cabo casi con la misma fuerza, hasta que se formaron gotas semejantes al rocío sobre la superficie de las hojas de las plantas, sin que éstas escurrieran. En las plantas testigo se roció agua destilada con el mismo procedimiento.

Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete SAS Institute (Anónimo, 1985) mediante el procedimiento Proc GLM, haciendo la comparación de medias a través de las pruebas de Tukey ( $p = 0.05$ ) en tomate y Duncan ( $p = 0.05$ ) en chile.

## RESULTADOS

### Plantas de tomate

En las plantas de tomate con dos hojas, el promedio general de altura fue de 14.7 cm, la desviación estándar de 3.2 cm y el coeficiente de variación (CV) de 21.8%. La mayor disminución de altura ocasionada por paclobutrazol ocurrió en las plantas en que fueron aplicadas las dosis de 100, 150 ó 200  $\text{mg L}^{-1}$  ( $p = 0.05$ ), luego siguieron las testigo y las que recibieron la dosis de 250  $\text{mg L}^{-1}$ . Aunque la altura de éstas últimas fue similar a la que se observó en las plantas tratadas con 300 ó 350  $\text{mg L}^{-1}$  de PBZ (Tabla 1). La altura de las plantas testigo quedó en medio de dos grupos tratados con dosis de PBZ, uno formado por aquéllas en las que se retardó el crecimiento y otro por aquéllas en las que se incrementó (Tabla 1).

**Tabla 1.** Altura en plantas de tomate, de la variedad "Río Grande", tratadas con paclobutrazol cuando estuvieron en la etapa fenológica de dos, cuatro y seis hojas verdaderas (promedios con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey con  $p \pm 0.05$ ).

**Table 1.** Height of tomato plants of the "Río Grande" variety, treated with paclobutrazol during the stages of two, four and six true leaves (averages with the same letter in each column are the same following Tukey's test with  $p \pm 0.05$ ).

Dosis de PBZ	Dos hojas	Cuatro hojas	Seis hojas
100	12.143 c	18.093 b	23.817
150	11.113 c	18.287 b	22.877
200	11.057 c	17.383 b	22.533
250	16.72 ab	20.597 a	23.24
300	18.283 a	21.113 a	22.917
350	18.027 a	20.99 a	23.1
Testigo	15.95 b	18.75 b	23.713
DMS	1.566	1.511	1.533

Con todos los tratamientos de PBZ que fueron aplicados durante la fase de cuatro hojas verdaderas, la altura ocurrió con diferencias altamente significativas (Tabla 1). La media general fue de 19.3 cm, la desviación estándar de 1.5 cm y el coeficiente de variación de 7.8%.

La mayor disminución del crecimiento se observó en las plantas que recibieron las dosis de 100, 150 ó 200  $\text{mg L}^{-1}$  de PBZ, aunque la altura de éstas fue igual a la que manifestaron las plantas testigo. En cambio, la mayor altura se obtuvo en aquéllas

que fueron tratadas con dosis de 250, 300 ó 350 mg L<sup>-1</sup> de PBZ, ya que los promedios de altura superaron a los alcanzados por las plántulas con los tratamientos anteriormente señalados (Tabla 1).

El promedio de altura de las plantas testigo quedó entre la altura que alcanzaron las tratadas con las primeras tres dosis y la altura que expresaron aquéllas que recibieron las últimas tres dosis indicadas, lo cual es muy parecido a lo obtenido en plantas que fueron asperjadas con PBZ en la etapa de dos hojas verdaderas (Tabla 1).

En las plantas con seis hojas verdaderas no se observaron diferencias estadísticas significativas entre las dosis de paclobutrazol con respecto al efecto que ocasionaron en la altura (Tabla 1), lo que también fue indicado por la escasa variación representada por la desviación estándar y el coeficiente de variación que alcanzaron los respectivos valores de 0.5 cm y 2.1 % en relación a la media general que fue de 23.2 cm. El crecimiento en las plantas testigo resultó similar a las tratadas con PBZ (Tabla 1), donde se pone de manifiesto que no reaccionaron al retardante de crecimiento.

### Plantas de chile

En todos los tipos de plantas de chile fueron obtenidas diferencias altamente significativas entre las dosis de paclobutrazol en relación al efecto que produjeron en la altura. En chile bell, la media general fue de 10.2 cm, alrededor de la cual los valores individuales en promedio se desviaron 1.3 cm Desviación estándar (S), y el coeficiente de variación (CV) fue de 13 %. En anaheim, el promedio general alcanzó un valor de 6.2 cm, la S = 0.3 cm y el CV = 5 %. En chile jalapeño, la media general tuvo un valor de 5.5 cm, la S = 0.2 cm y el CV = 4 %. En serrano, la media general en altura fue de 6 cm, alrededor de la cual los valores individuales en promedio se desviaron 0.5 cm, lo que a su vez representó el 8 % de la media referida. En caribe la media general en altura alcanzó un valor de 6.4 cm, la desviación promedio individual en relación a la media fue de 0.2 cm, lo que representó el 3 % de la media.

En plantas de chile bell y anaheim, el crecimiento en altura se retardó con 200 mg L<sup>-1</sup> de paclobutrazol (Duncan;  $p < 0.05$ ), ya que el resto

de las dosis no lo retrasaron en relación a las plantas testigo (Tabla 2). A diferencia de lo anterior, en chile jalapeño el mayor efecto fue a través de 100 mg L<sup>-1</sup>, a la cual le siguió la de 150 mg L<sup>-1</sup>, aunque la altura de las plantas tratadas con esta última dosis fue igual a la alcanzada por las que recibieron 200 mg L<sup>-1</sup> de paclobutrazol, así como a la altura de las plantas testigo (Tabla 1). Contrario a la altura expresada por las plantas tratadas con las dosis antes referidas, con 250, 300 ó 350 mg L<sup>-1</sup> la altura se incrementó significativamente.

Las dosis de 100 y 200 mg L<sup>-1</sup> fueron más eficaces para retardar el crecimiento en altura de las plantas de chile serrano (Tabla 2). Sin embargo, la eficacia de dichas dosis fue similar a la producida por 150 mg L<sup>-1</sup>, aunque la altura de las plantas tratadas con las tres dosis referidas fue igual a la que alcanzaron las plantas testigo. Estas últimas y las que recibieron 150 mg L<sup>-1</sup> también tuvieron altura similar a la de aquéllas en que fueron aplicadas 250 mg L<sup>-1</sup>. La mayor altura fue observada en las plantas tratadas con 300 ó 350 mg L<sup>-1</sup>, pero ésta fue igual a la que alcanzaron aquéllas tratadas con 250 mg L<sup>-1</sup> (Tabla 2).

En chile caribe, las plantas de menor altura fueron las tratadas con 250 mg L<sup>-1</sup> de paclobutrazol, en tanto que las que recibieron 350 mg L<sup>-1</sup> expresaron la mayor altura. Con una altura superior a las más bajas, estuvieron las plantas sobre las que fueron aplicadas 200 mg L<sup>-1</sup>, las que a su vez no difirieron de aquéllas tratadas con 100 mg L<sup>-1</sup>, y la de estas últimas fue igual a la que lograron las que recibieron 150 mg L<sup>-1</sup>, incluso a la altura de las plantas testigo. Aunque las tratadas con 150 mg L<sup>-1</sup> y las testigo tuvieron altura igual a la que expresaron las tratadas con 300 mg L<sup>-1</sup> (Tabla 2).

### DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en plantas de tomate, después que fueron tratadas con dosis de 100, 150 ó 200 mg L<sup>-1</sup> en la etapa de dos hojas, son muy coincidentes con lo registrado por Mariscal *et al.* (1992), Berova & Zlatev (2000), Giovinazzo *et al.* (2001), Nascimento *et al.* (2003) y Partida *et al.* (2005), en relación a que el paclobutrazol retardó

**Tabla 2.** Altura de plantas de chile bell "California Wonder", anaheim "Conquistador", jalapeño "El Jefe", serrano "Tampiqueño" y caribe "NuMex Sunrise" (promedios con la misma letra en la columna son iguales de acuerdo con la prueba de Duncan con una  $P \pm 0.05$ ).

**Table 2.** Height of "California Wonder" bell pepper plants, anaheim "Conquistador", jalapeño "El Jefe", serrano "Tampiqueño" and caribe "NuMex Sunrise" (averages with the same letter in each column are the same following Duncan's test with one  $p \pm 0.05$ ).

Dosis de PBZ	Bell	Anaheim	Jalapeño	Serrano	Caribe
100	10.2 ab	6.3 ab	4.6 c	5.1 c	6.2 cd
150	9.5 ab	6.5 a	5 bc	5.7 bc	6.4 bc
200	8.1 b	5.7 b	5.2 b	5.0 c	6.0 d
250	10.9 a	6.5 a	5.4 a	6.4 ab	5.6 e
300	10.7 a	6.1 ab	5.9 a	7.3 a	6.6 b
350	11.3 a	6.2 ab	6.2 a	6.9 a	7.2 a
Testigo	10.8 a	6.1 ab	5.3 b	5.9 bc	6.5 bc

el crecimiento de las plantas. Sin embargo, manifestaron que las dosis de 250, 300 ó 350 mg L<sup>-1</sup> lo incrementaron.

Cuando los tratamientos fueron aplicados en plantas con cuatro hojas, los resultados concordaron con los referidos en el anterior párrafo, así como con los publicados por Rojas & Rovalo (1985) en cuanto a la eficacia de sustancias para retardar el crecimiento y producir plantas más compactas para el transplante. Esta respuesta quizás se deba a que el paclobutrazol inhibe la síntesis de giberelinas, así como la división y elongación celular y, por tanto, el crecimiento y elongación del tallo, como lo mencionaron Hadden & Graebe (1985), Early & Martín (1988), Rademacher (2000) y Tadao *et al.* (2000). Aunque la coincidencia sólo fue con los resultados logrados a través de las dosis de 100, 150 y 200 mg L<sup>-1</sup>, ya que con las de 250, 300 y 350, el crecimiento se incrementó más que en las testigo, lo que a su vez fue similar a lo observado en las plantas tratadas durante la fase de dos hojas verdaderas.

Contrariamente a lo observado en plantas con dos o cuatro hojas, lo que se observó en las que fueron tratadas en la fase de seis hojas, indica que probablemente la similitud se debió a que las concentraciones de PBZ no fueron suficientes para inhibir la acción de la giberelina en los puntos de crecimiento o en los meristemos subapicales, por lo que las divisiones y elongaciones celulares ocurrieron con la misma velocidad e intensidad en todas las plantas, ocasionando que los tallos de éstas crecieran igual.

Asimismo, que la eficacia del PBZ para retardar el crecimiento no sólo depende de su concentración en la solución, sino también de la edad de la planta y del lugar de aplicación (Barrett & Bartuska (1982), de tal manera que a través de dosis superiores a las que fueron utilizadas, se pueda lograr retardar el crecimiento del tallo de plantas que se encuentren en la etapa fenológica de seis hojas verdaderas.

En plantas de tomate, la desviación estándar y el coeficiente de variación indicaron que la variación disminuyó conforme aumentaron las etapas fenológicas de las plantas, ya que en plántulas tratadas con PBZ, cuando tuvieron dos hojas verdaderas, la desviación estándar y el coeficiente de variación fueron superiores a los observados en el experimento donde el PBZ fue aplicado en la etapa de cuatro hojas, y éstos a su vez superaron a los obtenidos en el experimento con plantas que fueron sometidas a los tratamientos de PBZ en la etapa de seis hojas. Es decir, la variación disminuyó paulatinamente hasta que la desviación estándar fue de 0.5 cm y el coeficiente de variación de 2.1 %, lo cual indicó que en esta fase de desarrollo ya no es posible producir plantas más compactas que las testigo, a través de cualquiera de las dosis de PBZ utilizadas en esta investigación. Aunque el PBZ tuvo efectos retardantes en la altura de plantas de tomate de la variedad "Río Grande", su eficacia fue con las dosis de 100, 150 ó 200 mg L<sup>-1</sup> para producir plantas compactas, ya que con las dosis de 250, 300 ó 350 mg L<sup>-1</sup> lo incrementó en relación al crecimiento del testigo.

De tal manera que las etapas fenológicas más adecuadas para aplicar PBZ y retardar el crecimiento, fueron las de dos o cuatro hojas verdaderas, puesto que cuando se aplicó en las que tuvieron seis hojas verdaderas no se observó una altura distinta a la manifestada por las plantas testigo.

El paclobutrazol también retardó el crecimiento en altura de las plantas de los cinco cultivares de chile. En bell ("California Wonder") y anaheim ("Conquistador") el efecto retardante fue ocasionado con la dosis de 200 mg L<sup>-1</sup>, en jalapeño ("El Jefe") con 100 mg L<sup>-1</sup>, en serrano ("Tampiqueño") con 100 ó 200 mg L<sup>-1</sup> y en caribe ("NuMex Sunrise") con 200 ó 250 mg L<sup>-1</sup>. En contraste, el PBZ incrementó el crecimiento en jalapeño a través de las dosis de 250, 300 ó 350 mg L<sup>-1</sup>, en serrano con dosis de 300 ó 350 mg L<sup>-1</sup> y en caribe con 350 mg L<sup>-1</sup>. Los resultados de este estudio coinciden con los obtenidos por Roberts & Hooley (1988), Berova & Zlatev (2000), Giovinazzo *et al.* (2001), Nascimeto *et al.* (2003) y Partida *et al.* (2005, ya que dicha sustancia tuvo la propiedad de ejercer influencia en el crecimiento de las plantas de los cinco cultivares de chile.

En las plantas de cada cultivar no se observaron malformaciones en los tallos o en las hojas,

y esto es coincidente con lo informado por Rojas & Rovalo (1985) y Villegas & Lozoya (1991). Los primeros autores mencionaron que los retardantes de crecimiento actuales en el mercado, son compuestos orgánicos sintéticos que retrasan la división y alargamiento celular en tejidos del brote en activo crecimiento, sin provocar malformaciones en los tallos o en las hojas. Además, Villegas & Lozoya (1991) encontraron que el paclobutrazol inhibió el crecimiento de las plantas de nochebuena, sin detrimento en el aspecto o en la diferenciación floral.

La obtención de plantas de chile con menor altura en relación a las testigo, es un hecho que se ajusta con lo informado por Mariscal *et al.* (1992), quienes encontraron que el paclobutrazol retardó el crecimiento del tallo en hortensia, en dosis de 50 mg L<sup>-1</sup> aplicados al follaje en el cultivar Rose Supreme. Asimismo, ellos controlaron el alargamiento del tallo y produjeron plantas de menor altura en relación a plantas no tratadas mediante dos aplicaciones foliares de 50 mg L<sup>-1</sup> de paclobutrazol. Estos resultados también coinciden con lo señalado por Wang & Blessington (1990), acerca de que la misma sustancia es efectiva para reducir la elongación del tallo en muchas especies.

## LITERATURA CITADA

- Anónimo (1985) SAS User's Guide:Basics, Version 5. SAS Institute Inc., Cary, NC. 1181-1191 p.
- Azcón BJ (1993) Fisiología y Bioquímica Vegetal. Ed. Interamericana Mc-Graw. Madrid. 581 p.
- Barrett JE, Bartuska CA (1982) PP333 effects on stem elongation dependent on site of application. HortScience 17: 737-738.
- Berova M, Zlatev Z (2000) Physiological response and yield of paclobutrazol treated tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Plant Growth Reg. 30(2): 117-123.
- Burch PL, Wells RH, Kline WN (1996) Red maple and silver maple growth evaluated 10 years after application of paclobutrazol tree growth regulator. Journal Arboriculture 22: 61-66.
- Clouse SD, Sasse JM (1998) Brassinosteroids: essential regulators of plant growth and development. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 49: 427-451.
- Early JD, Martín GC (1988) Translocation and breakdown of 14C-labelled paclobutrazol in Nemaguard peach seedlings. HortScience 23(1): 196-200.
- Giovinazzo R, Souza MV, Hartz TK (2001) Paclobutrazol responses with processing tomato in France. Acta Hort. 542(1): 355-358.
- Hadden P, Graebe JE (1985) Inhibition of gibberellin biosynthesis by paclobutrazol in cell-free homogenates of *Cucurbita maxima* esdosperm and *Malus pumila* embryos. Plant Growth Reg. 4: 111-112.
- Hickman GW, Perry EJ, Mullen RJ, Smith R (1989) Growth regulator controls tomato transplant height. California Agriculture 43(5): 19-20.

- Magnitskiy SV, Pasian CC, Bennett MA, Metzger JD (2006) Effects of soaking cucumber and tomato seeds in paclobutrazol solutions on fruit weight, fruit size and paclobutrazol level in fruits. *HortScience* 41(6): 1446-1448.
- Mariscal AE, Lozoya SH, Colinas LMT (1992) Efecto del paclobutrazol (PP333, bonzo) sobre el crecimiento y floración de hortensia (*Hydrangea macrophylla* Thunb). *Chapingo S Hort.* 78: 11-13.
- McDaniel GL (1986) Comparison of paclobutrazol, flurprimidol, and tetcyclacis for controlling poinsettia height. *HortScience* 21(5): 1161-1163.
- Nascimento MW, Salvagio R, Silva CJB (2003) Condicionamento químico de crescimento de mudas de tomate. *Hort. Brasileira* 21(2): 1-3
- Osuna GJA, Baez SR, Medina UVM, Chávez CX (2001) Residualidad de paclobutrazol en frutos de mango (*Mangifera indica* L.) cultivar Tommy Taquín. *Rev. Chapingo S. Hort.* 7(2): 275-282.
- Partida RL, Velázquez ATJ, Acosta VB, Díaz VT, Low LJC (2005) Eficacia del paclobutrazol para retardar el crecimiento de plántulas de tomate. *Rev. Téc. Cient. Cidefruta* 1(1): 13-17.
- Partida RL, Velázquez ATJ, Acosta VB, Ayala TF, Díaz VT, Inzunza CJF, Cruz OJE (2007) Paclobutrazol y crecimiento de raíz y parte aérea de plántulas de pimiento morrón y berenjena. *Rev. Fitotec. Mexicana* 30(2): 145-149.
- Pisarczyk JM, Splittstoesser WE (1979) Controlling Tomato Transplants Height with Chlormequat, Daminozide and Etephon. *J Amer. Soc. Hort. Sci.* 104: 342-344.
- Rademacher W (2000) Growth retardants: Effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. *Annw. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 51: 501-531.
- Roberts JA, Hooley R (1988) *Plant Growth Regulators*. Chapman and Hall, New York. 190 pp.
- Rojas GM, Rovalo M (1985) *Fisiología Vegetal Aplicada*. McGraw-Hill. D. F. 302 pp.
- Tadao A, Kin MY, Nagata N, Yamagishi K, Takatsuto S, Fujioka S, Murofushi N, Yamaguchi I, Yoshida S (2000) Characterization of brassinazole, a triazole-type brassinosteroid biosynthesis inhibitor. *Plant Physiol.* 123: 93-99.
- Villegas TO, Lozoya SH (1991) Efecto del paclobutrazol (PBZ) sobre nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* W.) cultivar Gutbier V-10, bajo condiciones de invernadero en Chapingo, México. *Chapingo S Hort.* 73-74: 77-80.
- Wang YT, Blessington TM (1990) Effect of paclobutrazol and uniconazole on growth of four tropical foliage species. *HortScience* 25: 202-204.