

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA**  
**COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**



**T E S I S**

**EFFECTOS QUE OCASIONA EL PACLOBUTRAZOL  
APLICADO FOLIARMENTE EN PLANTAS DE PEPINO Y  
CALABAZA**

**PRESENTA:**

**LUZ LLARELY CÁZAREZ FLORES**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**DIRECTORA  
DRA. TERESA DE JESÚS VELÁZQUEZ ALCARAZ**

**CODIRECTOR  
DR. LEOPOLDO PARTIDA RUVALCABA**

**CULIACÁN, SINALOA SEPTIEMBRE DE 2015**

ESTA TESIS FUE REALIZADA POR LUZ LLARELY CÁZAREZ FLORES,  
BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA, HA  
SIDO APROBADA POR EL MISMO Y ACEPTADA COMO REQUISITO  
PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:

## **MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

### **COMITÉ PARTICULAR**

DIRECTORA

\_\_\_\_\_  
DRA. TERESA DE JESÚS VELÁZQUEZ ALCARAZ

CO-DIRECTOR

\_\_\_\_\_  
DR. LEOPOLDO PARTIDA RUVALCABA

ASESOR

\_\_\_\_\_  
DR. TOMAS DÍAZ VALDÉS

ASESOR

\_\_\_\_\_  
DR. FELIPE AYALA TAFOYA

ASESOR

\_\_\_\_\_  
DR. JUAN MARTÍN PARRA DELGADO

CULIACÁN ROSALES, SINALOA, MÉXICO, SEPTIEMBRE DE 2015



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA**  
**COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA CULIACÁN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA VALLE DEL FUERTE  
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR  
FACULTAD DE AGRONOMÍA VALLE DEL CARRIZO

En la Ciudad de Culiacán Rosales, Sinaloa, el día 14 de septiembre del año 2015, la que suscribe Luz Llarelly Cázarez Flores, alumna del Programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias, con número de cuenta 05329221, de la Unidad Académica Facultad de Agronomía, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la UAS, manifiesta que es autora intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de la Dra. Teresa de Jesús Velázquez Alcaraz, Dr. Leopoldo Partida Ruvalcaba, Dr. Tomas Díaz Valdés, Dr. Felipe Ayala Tafoya y el Dr. Juan Martín Parra Delgado, cede los derechos del trabajo titulado “Efectos que ocasiona el paclobutrazol aplicado foliarmente en plantas de pepino y calabaza”, a la Facultad de Agronomía, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa, para su difusión, con fines académicos y de investigación por medios impresos y digitales, todo esto en apego al artículo 27 de la Ley Federal de Derechos de Autor.

La Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México) protege el contenido de la presente tesis. Los usuarios de la información contenida en ella deberán citar obligatoriamente la tesis como fuente, dónde la obtuvo y mencionar al autor intelectual. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ATENTAMENTE

---

M.C. Luz Llarelly Cázarez Flores

DOMICILIO: Calle Chihuahua # 88, Col. popular  
TELÉFONO: 6674774122  
CORREO ELECTRÓNICO: [luzcazare@uas.edu.mx](mailto:luzcazare@uas.edu.mx)  
CURP: CAFL900910MSLZLZ15

## **AGRADECIMIENTOS**

Esta tesis es el resultado de un conjunto de situaciones, lugares, sentimientos, hechos y personas; sin las cuales, no hubiera podido ser posible, pero sobre todo por la gente que creyó en mí, por mostrarme que los sueños pueden hacerse realidad.

Expreso mi profundo agradecimiento a las siguientes instituciones y personas

A la Universidad Autónoma de Sinaloa, por darme la oportunidad de formarme como profesionista.

A la Dra. Teresa de Jesús Velázquez Alcaraz y el Dr. Leopoldo Partida Ruvalcaba por su asesoría, apoyo y escucha durante la elaboración del trabajo de investigación, pero sobre todo por ser un ejemplo vivo de compromiso genuino y porque además de ser unos grandes maestros me brindaron el privilegio de su amistad.

Se ofrece un agradecimiento especial a los miembros de mi comité, por su asesoría, sus comentarios y revisión al documento.

En general a los maestros de la Facultad de Agronomía por la dedicación, tiempo y apoyo brindados para culminar mis estudios de Maestría y también durante mi proceso de formación.

## **DEDICATORIA**

### **A DIOS**

Con amor y gratitud por iluminar mi camino, colmar de bendiciones mi vida y mostrarme siempre su inmensa bondad, quien siempre está conmigo.

### **CON AMOR Y GRATITUD A MIS PADRES**

Por guiarme y enseñarme a tener respeto a la vida y con quienes he compartido momentos maravillosos de mi vida y con quienes espero contar con su simpatía y apoyo como hasta ahora lo he tenido.

**A DOS GRANDES AMORES EN MI VIDA:** a mi hija Allison y Alonso mi esposo, por ser mi fortaleza y acompañarme en todo momento. LOS AMO

### **A MIS HERMANOS Y HERMANA**

De quienes he tenido incondicionalmente su apoyo en todo momento.

### **A MIS SOBRINOS Y CUÑADAS**

Con quienes he compartido vivencias, alegrías y tristezas. Espero seguir compartiendo la dicha y la felicidad que nos mantiene unidos.

### **A MIS AMIGOS.**

A mis amigos y a todas aquellas personas quienes me abrieron las puertas de su corazón y me brindaron su cariño, amistad y confianza.

A todos los que creyeron en mí y en este proyecto, mi eterno agradecimiento.

**Luz Llarely**

| <b>ÌNDICE</b>   | <b>Pág</b> |
|---|------------|
| <b>AGRADECIMIENTOS</b>  | I          |
| <b>DEDICATORIAS</b>   | II         |
| <b>ÌNDICE</b>   | III        |
| <b>RESUMEN</b>  | IV         |
| <b>ABSTRACT</b>   | V          |
| <b>I. INTRODUCCIÓN</b>  | 1          |
| <b>II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.</b>   | 3          |
| 2.1 Planteamiento del problema  | 3          |
| 2.2 Hipótesis   | 3          |
| 2.3 Objetivo general.   | 3          |
| 2.4 Objetivo específicos  | 3          |
| <b>III. REVISIÓN DE LITERATURA</b>  | 5          |
| 3.1 Reguladores de crecimiento  | 5          |
| 3.2 Paclobutrazol (PBZ)   | 6          |
| 3.3 Grupo de retardantes del crecimiento de las plantas   | 7          |
| 3.4 Mecanismos de acción del paclobutrazol (PBZ)  | 8          |
| 3.5 Triazoles   | 9          |
| 3.6 Número, tamaño y contenido de cloroplastos en células de hojas maduras  | 10         |
| 3.7 Antecedentes  | 10         |
| <b>VI. MATERIALES Y MÉTODOS</b>   | 16         |
| <b>V. RESULTADOS Y DISCUSIONES</b>  | 16         |
| Cuadro 1. Verdor, altura, área foliar, materia seca de raíz y parte aérea de plántulas de pepino y producción.                                  | 18         |
| Cuadro 2. Verdor, altura, área foliar y materia seca de raíz y parte aérea de plántulas de calabaza.  | 20         |
| Cuadro 3. Verdor, altura de plantas de pepino cuando estuvieron en la etapa fenológica de Hojas cotiledonales, cuatro y cinco hojas verdaderas. | 22         |
| Cuadro 4. Verdor y altura de plantas de pepino cuando estuvieron en la etapa fenológica de doce, dieciocho y veinte hojas verdaderas.           | 23         |

Cuadro 5. Producción de pepino cuando estuvieron en etapa 25  
cotiledonal, cuatro, cinco, ocho, doce, dieciocho y veinte hojas.

**VI. CONCLUSIONES** 26

**VII. LITERATURA CITADA** 27

**VIII. APENDICE** 39

## RESUMEN

Esta investigación se hizo para determinar el efecto que ocasiona el paclobutrazol (PBZ) en dosis de  $150 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de agua y establecer la mejor etapa fenológica para retardar el crecimiento y desarrollo de pepino y calabaza. El 21 de Octubre de 2013 se sembraron las dos especies en charolas de poliestireno con 200 cavidades rellenas con peat moss. Las plantas de pepino bajo condiciones de casa sombra se sembraron el 11 de noviembre de 2013. Los tratamientos fueron la dosis de  $150 \text{ mg}$  de  $\text{PBZ L}^{-1}$  de agua y el testigo (agua destilada) para las plántulas de pepino y calabaza y las plantas de pepino bajo condiciones de casa sombra se aplicó la misma dosis sobre las hojas cotiledonales, cuatro, cinco, ocho, doce, dieciocho y veinte hojas. Las plantas se regaron cada 24 h y se fertilizaron con  $1.0 \text{ g}$  de  $\text{N}\cdot\text{L}^{-1}$  de agua. En pepino y calabaza el PBZ incrementó el verdor en 26 % y 15 %, respectivamente, en relación al testigo. En ambas especies fue menor la altura de plantas tratadas con PBZ, el área foliar del pepino disminuyó en relación al testigo. En raíz, el PBZ fue eficaz para inducir mayor acumulación de materia seca en ambas especies. Al aplicar PBZ en las plantas de pepino bajo condiciones de casa sombra, se incrementó el verdor, pero solo disminuyó la altura en las plantas donde se aplicó PBZ en etapa cotiledonal, cuatro y cinco, el resto de las etapas incremento su crecimiento. En producción, el PBZ fue eficaz para incrementar la producción en las plantas tratadas en etapa de veinte hojas verdaderas en: 56 % en relación a las testigos.

**Palabras clave:** *Reguladores de crecimiento, cucurbitáceas, altura.*

## ABSTRACT

This research was done to determine the effect produced by paclobutrazol (PBZ) in doses of  $150 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  of water and establish the best phenological stage to retard the growth and development of cucumber and squash. The October 21, 2013 were sowed the two species in polystyrene trays with 200 cavities filled with peat moss. Cucumber plants under conditions of shade house were planted on 11 November 2013. The treatments were doses of PBZ  $150 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  of water and the control (distilled water) for cucumber and squash seedlings and plants cucumber under shade conditions home was applied the same dose under the cotyledons stage, four, five, eight, twelve, eighteen and twenty leaves. Plants were irrigated every 24 h and fertilized with  $1.0 \text{ g}$  of  $\text{N}\cdot\text{L}^{-1}$  water. In cucumber and squash the PBZ increased the greenery at 26 and 15 % respectively, compared to the control. In both species was lower height of plants treated with PBZ, cucumber leaf area decreased relative to the control. At root, the PBZ was effective in inducing greater dry matter accumulation in both species. By applying PBZ in cucumber plants under shade conditions home, increased greenery, but only decreased the height in plants where PBZ was applied in cotyledonal stage, four and five, the remaining increase their growth stages. In production, the PBZ was effective to increase production in plants treated in twenty leaves stage in 55 % in relation to witnesses.

**Index words:** *Growth regulators, cucurbits, height.*

## I. INTRODUCCIÓN

El pepino (*Cucumis sativus* L.) y calabaza (*Cucurbita pepo* L.) son especies que se cultivan en Sinaloa. Durante el ciclo agrícola otoño-invierno 2012 se sembraron 3,799.41 y 3,839.39 ha respectivamente, con un rendimiento de 74.51 y 20.88 t·ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2012). Dichos cultivos son de gran importancia económica, pues tienen gran demanda en el mercado local e internacional, ya sea fresco o procesado (Arias, 2007). Buscando alternativas para mejorar crecimiento y desarrollo de las plantas, en las dos décadas pasadas se descubrió que el paclobrutazol (PBZ) incrementa el crecimiento de raíces (Watson, 1996) y, según Partida *et al.* (2007), también incrementa el de la parte aérea de plántulas de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) y berenjena (*Solanum melongena* L.) o aumenta la relación de raíces por brotes en plantas de durazno (*Prunus pérsica* L.) (Liyembani y Taylor, 1989).

En plántulas de tomate cv. 'Viradoro' donde el PBZ ocasionó disminución en altura (Nascimento *et al.*, 2003), de tal manera que siendo conocido para reducir el crecimiento de plantas leñosas, los horticultores lo han usado con éxito para aquel propósito (Fletcher *et al.*, 2010). Sin embargo, este producto tiene restricciones para su uso en frutales en los Estados Unidos por su alta persistencia en el suelo cuando es aplicado a éste, por lo que puede provocar contaminación de mantos freáticos y riesgo potencial de translocación en los frutos, pero dicha residualidad depende de que hagan aplicaciones consecutivas a través del tiempo (Osuna *et al.*, 2001). Lo anterior puede limitar su utilidad como retardante de crecimiento en algunas situaciones (Roberts and Hooley 1988).

En pepino, el PBZ ocasiona aumento en el número de raíces, longitud y diámetro de las mismas, cuando las semillas son remojadas en solución con 40 mg de PBZ L<sup>-1</sup> de agua, pero la longitud del hipocótilo se reduce, además, las plantas que resultan de semillas tratadas con PBZ y refrigeración durante 4 días a 5 °C tienen mayor concentración y fluorescencia de clorofila, por lo que son más eficientes fotosintéticamente en relación con las plantas testigo (Ali, 2009). Las consecuencias morfológicas directas sobre la planta se notan en la

disminución del crecimiento y en la mayor producción de flores en algunas especies (Villegas y Lozoya, 1991).

El PBZ también produce efectos en la parte aérea de plántulas de tomate y chile, de tal forma que cuando se aplica sobre plántulas de tomate con dos o cuatro hojas verdaderas en dosis de 100, 150 ó 200 mg·L<sup>-1</sup> de agua, la altura de la planta se retarda; mientras que cuando se aplica en dosis de 250, 300 ó 350 mg·L<sup>-1</sup> de agua, la altura se incrementa. En chile retarda el crecimiento de los tipos bell y Anaheim con 200 mg·L<sup>-1</sup>, en jalapeño con 100, en serrano con 100 ó 200, y en caribe con 200 ó 250 (Velázquez *et al.*, 2008).

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. Al respecto, Clouse and Sasse (1998), mencionan que mediante dos aplicaciones foliares de 50 mg·L<sup>-1</sup> de agua controlaron el alargamiento de tallo y produjeron plantas de menor altura (37 cm) en relación con las plantas no tratadas (50 cm).

El PBZ es un regulador de crecimiento vegetal que tiene fórmula química C<sub>15</sub>H<sub>20</sub>ClN<sub>3</sub>O, peso molecular de 293.79, pH de 6-10 y nombre químico (2RS, 3RS)-1-(4-chlorophenyl)-4,4-dimethyl-2-(1H-1,2,4-triazol-1-yl) pentan-3-ol, y que 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 and Martín 1988).

## **II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**

### 2.1 Planteamiento del problema

En pepino y calabaza no se conoce la respuesta en verdor, altura, área foliar y peso seco de raíz y de la parte aérea después de aplicar PBZ sobre hojas cotiledonales en dosis de  $150 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de agua.

En pepino se desconoce la etapa fenológica más adecuada para inducir mayor verdor, altura y producción.

### 2.3 Hipótesis.

El paclobutrazol es una sustancia que cuando se aplica en la etapa fenológica de hojas cotiledonales en plántulas de pepino y calabaza, induce a que estas incrementen su verdor, peso seco de raíz y de la parte aérea y disminuya altura y área foliar en relación con aquellas que se cultivan sin aplicar dicha sustancia sobre el follaje.

El paclobutrazol es una sustancia que induce a que las plantas de pepino, incrementen su verdor y producción, e incrementen o disminuyan su altura de acuerdo a la etapa fenológica.

### 2.4 Objetivo general.

Determinar el efecto que el PBZ ocasiona en el verdor, altura, área foliar y peso seco de raíz y de la parte aérea de las plántulas de pepino y calabaza, cuando se aplica sobre las hojas cotiledonales en dosis de  $150 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de agua.

Establecer el efecto que ocasiona el PBZ en la altura, verdor y producción de las plantas de pepino, cuando se aplica en diferentes etapas en dosis de  $150 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de agua.

### 2.5 Objetivos específicos.

1. Determinar la respuesta de las plantas de pepino y calabaza, después que se aplique paclobutrazol sobre el follaje.

2. Determinar la etapa fenológica más adecuada para aplicar paclobutrazol sobre el follaje, para incrementar el verdor, altura y producción de las plantas de pepino.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1 Reguladores de crecimiento

Existen reguladores de crecimiento endógenos que desempeñan un papel preponderante en el proceso de las plantas, entre los que destacan las giberelinas; la importancia de éstas se ha comprobado al determinar que la concentración interna de ácido giberélico (AG) es alta en la planta en condiciones no inductivas de la tuberización y decrece en condiciones inductivas, días cortos y bajas temperaturas nocturnas (Hannapel *et al.*, 2004). Razón por la cual en la agricultura se han utilizado practicas principalmente con la intención de reducir el crecimiento longitudinal del tallo sin disminuir si productividad (Rademacher, 2000), promover los proceso de floración y fructificación (Silva *et al.*, 2003), así como para controlar el etiolamiento de las plantas, reducir el rompimiento de raíces en plántulas para transplante y hacerlas más compactas (Hickman *et al.*, 1989), una de las practicas es el uso de los reguladores químicos, dentro de estos destaca el paclobutrazol (PBZ) (Nascimento *et al.*, 2003).

Los reguladores de crecimiento de las plantas (PGR), también llamadas hormonas exógenas de las plantas, son una clase de pesticidas sintéticos, que tienen una actividad similar fisiológica a sus análogos de hormonas naturales (Shi *et al.*, 2012). A aquí hay poder en cantidades ínfimas para desencadenar una variedad de procesos fisiológicos básicos, incluyendo la división celular, la ampliación y diferenciación, organogénesis, latencia de las semillas y la germinación, la senescencia foliar, y abscisión, así como la defensa contra estreses abióticos y bióticos (Ma *et al.*, 2013).

Los reguladores de crecimiento registrados en los mercados de césped comerciales fueron anteriormente categorizados ya sea como inhibidores de la biosíntesis de giberelinas o inhibidores de la mitosis (Watschke *et al.*, 1992). Una reciente revisión ahora coloca los recursos fitogenéticos en las siguientes cinco categorías:

A) Inhibidor de la elongación celular en ruta de biosíntesis de giberelina finales (es decir, trinexapac-etilo)

B) Inhibidor de la elongación celular en ruta de biosíntesis de giberelinas temprana (es decir, flurprimidol, paclobutrazol).

C) Inhibidor de la división celular (es decir, mefluidida).

D) Herbicidas con propiedades que regulan el crecimiento (es decir, etofumesato).

E) Fitohormonas (es decir, ácido gibberillico) (Turgeon, 2002).

Reguladores de crecimiento con una estructura a base de triazol (es decir, paclobutrazol) son químicamente similares a algunos fungicidas (es decir, fenarimol, miclobutanil, propiconazol, triadimefon) que se utiliza para controlar la mancha de dólar en césped (Koller, 1988), y los reguladores de crecimiento se ha demostrado para inhibir crecimiento de *S. homoeocarpa* in vitro (Fletcher *et al.*, 1986).

Los factores ambientales a menudo afectan niveles hormonales que inducen la floración de las plantas (Campos and Kerbauy, 2004). Los reguladores de crecimiento se producen de manera endógena, estos regulan múltiples aspectos de crecimiento de las y desarrollo plantas bajas concentraciones (Davies, 2004). Se conocen cinco fitohormonas: ácido giberélico (GA), auxinas, citoquininas (CK), etileno y ácido abscísico (ABA). Los avances recientes han revelado las hormonas son reguladores importantes del desarrollo de la inflorescencia (Barazesh and McSteen, 2008).

### 3.2 Paclobutrazol (PBZ)

El paclobutrazol es un derivado de la pirimidina (McDaniel 1986), cuya estructura 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 (Early and Martín 1988), fue descubierto en 1976, el cual 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 and Hooley 1988). 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 (Rojas and Rovalo 1985). Se demostró que el PBZ es un regulador de crecimiento, ya que inhibe la biosíntesis de giberelinas, este regulador incrementa el crecimiento de raíces o la relación raíces/brotos en plantas de durazno (*Prunus pérsica* L.) (Liyembani and Taylor, 1989), así como en *Pyracantha* y *Juniperus* (Ruter, 1994) y reducir la pérdida de agua de las plantas (Watson, 2001). El paclobutrazol es un regulador de crecimiento que ha sido utilizado como promotor de la brotación floral con excelentes resultados en algunas variedades comercialmente importantes. Entre sus efectos se citan floración temprana y profusa, madurez temprana en frutos, restricción de la brotación vegetativa, eliminación de la alternancia productiva, incremento en la producción de flores perfectas y altos rendimientos (Whiley, 1993).

### 3.3 Grupo de retardantes del crecimiento de las plantas

Krishnamoorthy (1981), menciona que los grupos importantes de retardante de crecimiento son: a) nicotínicos, como el cloruro de 2-3- diclorobencil nicotínico (2-4 DNC); b) carbamatos cuaternarios de amonio, por ejemplo: AMO.1618; c) compuestos fosfónicos de los cuales el fosón D y fosón S son los más activos; d) colinas sustituidas, donde el cycocel (CCC) es el de mayor eficacia ; e) ácidos succinámicos al que pertenece el daminozide; f) triazoles como el unicanalozol y paclobutrazol.

Los retardantes de crecimiento como el paclobutrazol, hidrácida maleica, morfactinas, alar, AMO-1618 y cycocel, presentan mecanismos físicos y bioquímicos que inhiben la biosíntesis de giberelinas y reducen la división celular; asimismo, los retardadores como paclobutrazol (BONZI<sup>®</sup>), un potente inhibidor de biosíntesis de giberelinas, son absorbidos pasivamente a través de las hojas, tallos y raíces, y se translocan por el xilema hasta los puntos de crecimiento, donde inhiben la síntesis de giberelinas, en la cual impiden su acción en los meristemos subapicales (Early and Martín, 1988).

### 3.4 Mecanismos de acción del paclobutrazol (PBZ)

El inhibidor del crecimiento paclobutrazol (PBZ) es un triazol y se ha informado para proteger las plantas contra varias tensiones ambientales, es decir, la sequía, la baja y alta temperatura, etc. (Asare *et al.*, 1986; Fletcher and Hofstra, 1985; Marshall *et al.*, 1991; Kraus and Fletcher, 1994; Fletcher *et al.*, 2000 and Marshall *et al.*, 2000). PBZ interfiere con la biosíntesis de giberelinas mediante la inhibición de la oxidación de ent-kaureno al ácido ent-kaurenoico a través de la inactivación dependiente del citocromo P450 oxigenasas (Graebe, 1987). También se ha demostrado que los triazoles estimulan la acumulación de ABA en las hojas (Asare *et al.*, 1986), de una manera similar a la sequía (Bano *et al.*, 1993 and Hubick *et al.*, 1986).

El paclobutrazol es un triazol que bloquea la biosíntesis de ácido giberélico, disminuyendo el crecimiento de las plantas, el PBZ actúa de acuerdo a su dosis, el lugar de aplicación o el estado fenológico que fue realizada, éste puede ser realizado directamente al follaje o al suelo ya que es absorbido pasivamente por los pelos de las raíces por su movimiento acrópeto dentro de la planta, moviéndose desde la base hacia el ápice (Santos *et al.*, 2004). Los efectos anatómicos del triazol incluyen la reducción de la elongación de brotes y longitud de tricomas, aumento de cera epicuticular, cloroplastos grandes y aumento de raíz (Fletcher and Hofstra, 1988; Gao *et al.*, 1988 and Grossmann, 1990). Y aumenta el contenido de clorofila (Fletcher and Hofstra, 1988).

Este derivado de triazol está estructuralmente relacionada con paclobutrazol, un agente antifúngico (Koller, 1987) y retardante de crecimiento de la planta (Khalil and Mercer, 1990). Paclobutrazol se ha demostrado que producen un color verde oscuro en plántulas de trigo y (Khalil and Mercer, 1990a and Khalil *et al.*, 1990b). Este efecto también es causado por otro derivado de triazol (Fletcher *et al.*, 1986) y paclobutrazol (Shaltout *et al.*, 1988). Se ha relacionado a la mejora de la clorofila y el contenido de carotenoides de la hoja (Shaltout *et al.*, 1988). No está claro si este efecto se debe a una acción estimulante y / o regulador del paclobutrazol en la biosíntesis de los pigmentos de los

cloroplastos, o si está es la consecuencia del crecimiento retardado y compacto de las plantas tratadas (Iqtidar and Hidayat, 1995).

Villegas y Lozoya (1991), manifestaron que los retardantes de crecimiento actúan en la oxidación del kaureno a ácido kaurenoico para la producción de giberelinas, de esta forma se reduce la tasa de división y expansión celular, sin el riesgo de causar toxicidad. Esta reacción es agente retardante del citocromo P-450 (Rademacher *et al.*, 1987) de una manera similar a la forma en que interactúan con P-450 monooxigenasa en la biosíntesis de ergosterol en los hongos (Mercer, 1984., Wiggins and Baldwin, 1984) y la biosíntesis de fitoesteroides en plantas de cultivo (Taton *et al.*, 1988).

Las giberelinas (GAs) constituyen un grupo de hormonas vegetales que regulan diversos procesos de desarrollo, incluyendo la germinación, elongación del tallo, floración y desarrollo del fruto. Las GAs se sintetizan a través de tres tipos de enzimas (Yamaguchi, 2008). Los niveles de GAs activos en diversas especies está asociado con el aumento o reducción de la altura de las plantas (Coles *et al.*, 1999; Carrera *et al.*, 2000; Vidal *et al.*, 2001 and Fagoaga *et al.*, 2007).

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. Este 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 and Martín 1988).

El PBZ es un fungicida de los triazoles que tienen propiedades reguladoras del crecimiento vegetal y ha sido reportado como inhibidor de la biosíntesis del ácido giberélico e incrementa el contenido de citocininas y ácido abscísico. Además incrementa considerablemente el total de fenoles en la especie *Ocimum sanctum* (Gopi *et al.*, 2009).

### 3.5 Triazoles

Triazoles afectan a la ruta de isoprenoides, y alteran los niveles de ciertas hormonas de la planta mediante la inhibición de la síntesis de giberelina, la reducción de la evolución de etileno, y el aumento de los niveles de citoquinina (Kamountsis and Chronopoulou, 1999). Algunos de los cambios morfológicos observados en las plantas tratados con triazol, incluyen la inhibición de crecimiento de la planta, la disminución de la elongación internodal, el aumento de los niveles de clorofila, cloroplastos agrandados, tejido de la hoja más gruesa, aumento de la relación raíz-vástago y niveles elevados de formación de cera epicuticular (Watson and Himelick, 2004) .

Los triazoles también se han utilizado para promover el desarrollo de la yema adventicia masiva en el cultivo in vitro de propagación (Li and Zhang, 1999). El cloroplasto es un sitio importante en la producción de radicales libres y paclobutrazol en las plantas, protegiéndolas por impulsar los sistemas de defensa antioxidante. Las plantas tratadas con PBZ tienen un sistema de captación de radicales libres más eficiente que les permite desintoxicar el oxígeno activo (Kopyra and Gwozdz, 2003).

### 3.6 Número, tamaño y contenido de cloroplastos en células de hojas maduras

En diversos tipos de vegetales se pueden encontrar cloroplastos de muchos tamaños y formas (Possingham, 1980), los cuales cuando son jóvenes se dividen de forma activa, especialmente cuando el órgano que los contiene se expone a la luz, por lo que a menudo cada célula de una hoja madura contiene unos cuantos cientos de cloroplastos que contienen estromas como enzimas que convierten el CO<sub>2</sub> en carbohidratos, especialmente almidón, tilacoides (lamelas) y granas(pilas de tilacoides) constituidos por dos membranas, en donde se almacena la clorofila (Salisbury and Ross,2000).

### 3.7 Antecedentes

Pallardy (2008), reportó que el uso de reguladores de crecimiento es un medio alternativo para modificar el crecimiento de los brotes y la acumulación de biomasa. Actualmente son varias las tecnologías que se utilizan como retardantes de crecimiento, dentro de las cuales está el paclobutrazol (PBZ)

que se caracteriza por retrasar la división y alargamiento celular en tejidos del brote en activo crecimiento, sin provocar malformaciones en los tallos o en las hojas (Rojas y Rovalo, 1985).

Se ha encontrado que las aplicaciones del PBZ al suelo puede ser más sensibles en lo que respecta a suprimir el crecimiento vegetativo y mejorar el crecimiento reproductivo en mango de aplicación foliar (Burondkar and Gunjate, 1991; Singh, 2000).

La eficacia de la PBZ como regulador del crecimiento vegetal en la respuesta de las plantas cultivadas ha sido ampliamente estudiada en los últimos 20 años. La aplicación comercial de la PBZ se ha utilizado para reducir el tamaño de las plantas ornamentales, mejorar la compacidad y producir una hoja de color verde más oscuro (Bañón *et al.*, 2002).

También se han estudiado otros aspectos funcionales del PBZ, tales como su capacidad de inducir resistencia a estrés abiótico y biótico en plantas (Bañón *et al.*, 2005). Su aspecto es de especial interés en el vivero, ya que permite que las plantas pueden producir con una mayor capacidad para resistir condiciones de estrés, lo que aumenta la posibilidad de supervivencia durante el transplante y el establecimiento en el campo (Bañón *et al.*, 2005).

Fletcher and Kraus (1995), sugiere que las plantas tienen un potencial de protección intrínseca en respuesta al estrés, y el PBZ facilita esta expresión. El PBZ transmite resistencia a la sequía, salinidad, frío, calor, herbicidas, contaminación del aire, las inundaciones, la falta de nutrición y de la luz ultravioleta (Rademacher, 1995). Además, el PBZ puede favorecer la resistencia a estres bióticos, ya que afecta a varios hongos patógenos en las plantas, incluyendo *Fusarium sp.* (Cohen *et al.*, 1987), *Sclerotinia homoeocarpa* (Mercier, 1999), *Sphaeropsis sapinea* (Wan and Shen, 1998) y *Botrytis cinerea* (Martínez *et al.*, 2007).

En palma de aceite (*Elaeis quineensis* Jacq), el PBZ incrementa la superficie epicuticular de las raíces, el color verde de las hojas y el contenido total de clorofila a 3.54 mg·g<sup>-1</sup> de peso fresco (Nizam and Te-chato, 2009).

Con la reducción en el crecimiento de las plantas que ocasiona el PBZ, se incrementa el almacenamiento de carbohidratos (sustancias de reserva de las plantas) y también se incrementa la producción de clorofila y con ello la de carbohidratos (Percival and Albalushi, 2007); sin embargo, en el árbol chopo blanco (*Populus alba* L.), especie que en ambientes urbanos se utiliza con fines ornamentales, el PBZ (0.4 y 0.8 g por planta con poda severa) afectó significativamente ( $P \leq 0.05$ ) el crecimiento de tronco, hojas y la relación de azúcares totales/reductores, aunque el efecto se perdió en la siguiente etapa de crecimiento, y quizás debido a que los valores de fluorescencia de la clorofila ( $F_v/F_m$ ) se vieron disminuidos, el PBZ no mejoró la vitalidad de la planta (Martínez *et al.*, 2013). Contrario a esto último, varios autores han referido a que el PBZ incrementa la vitalidad de las plantas, entendida ésta como la habilidad para tolerar estrés de origen biótico o abiótico (Navarro *et al.*, 2007; Percival and Albalushi, 2007; Sharma *et al.*, 2011)

Se demostrado que el paclobutrazol reduce 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).

En plántulas 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  $200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de agua, aunque tal efecto en altura fue similar al causado por etefón y uniconazole, el PBZ fue el que más disminuyó peso seco de la parte aérea y de raíces, en relación con los tratamientos testigo y etefón (Nascimento *et al.*, 2003).

También se ha observado que en plántulas de tomate de los cultivares 'Río Grande', 'Maya', 'H-9663' y 'H-289', el PBZ a dosis de 100, 150 ó  $200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  redujo el crecimiento, mientras que con 250, 300 ó  $350 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  lo incrementó, respecto a las plántulas testigo (Partida *et al.*, 2005).

En plántulas de olmo (*Ulmus divaricata* Mull.) el PBZ incrementó la relación entre longitud y peso de raíces regeneradas, aun cuando el peso total de raíces

regeneradas fue reducido por excesiva regulación del crecimiento (Watson, 2001).

Pisarczyk and 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 etefón, retrasando hasta 15 días el trasplante, sin afectar la precocidad de flores y frutos en relación con el testigo.

Por su parte, Rodríguez *et al.* (2007), encontraron que el PBZ aplicado al suelo ( $1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1}$  lineal de copa de i. a.) redujo el crecimiento de los brotes a partir del segundo flujo de crecimiento; en 'Tommy Atkins' la reducción fue del 65.9 % y en 'Kent' de 75.7 %; asimismo, observaron un ligero adelanto en el inicio de la floración y mencionan que estos resultados evidencian la alternativa del empleo del PBZ en plantaciones de mango con altas densidades de población, para disminuir el tamaño de los brotes y adelantar el inicio de la floración. Resultados similares se encontraron en mango 'Alphonso' con aplicaciones de PBZ de 5 y  $10 \text{ g} \cdot \text{árbol}^{-1}$  de i. a. aunque la última dosis fue más efectiva en reducir el tamaño del árbol (Murti *et al.*, 2001).

En semilleros de trigo al trabajar con PBZ en dosis de 25, 50 y  $0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , encontró una reducción significativa en la longitud (44-49 %) y peso fresco de los brotes (15-23 %), y un aumento en la producción de raíces, lo que lleva a un aumento de la relación raíz-vástago (21-32 %). Al mismo tiempo las hojas aparecieron más gruesas, más verde y con mayor clorofila (Malgorzata *et al.*, 2002).

Como esta sustancia tiene alta residualidad en el suelo, 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). Además, su efecto residual como retardante del crecimiento de árboles de mango ha sido observado hasta 3 años después de su aplicación (Salazar y Vázquez, 1997).

En dosis de  $1.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  aplicado al suelo o de  $25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  en aplicación foliar, el PBZ ha provocado que se reduzca la altura de plántulas, 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 plántulas 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 and Zlatev, 2000).

Davenport (1993) y Galán (2000), mencionaron que es poco probable que el PBZ se trasloque a frutos, ya que se mueve solamente por el xilema; aunque ambos coinciden en que el producto persiste mucho tiempo en el suelo por lo que podría limitarse su uso para evitar la contaminación del mismo y percolación a mantos acuíferos.

Osuna (2001), al aplicar PBZ al suelo en concentración de  $5 \text{ ml}\cdot\text{m}^{-1}$  de diámetro de copa como aplicación inicial y  $2.5 \text{ ml}\cdot\text{m}^{-1}$  de diámetro de copa como segunda aplicación en años consecutivos. No detectaron residuos del PBZ en frutos de mango 'Tommy Atkins' cosechados de árboles que recibieron solo una aplicación del producto en año. Sólo se detectaron trazas cuando el PBZ se aplicó en dos años consecutivos.

Tongumpai *et al.* (1997), señalaron que la cantidad de paclobutrazol a aplicar al suelo está en función del tamaño del árbol y del cultivar. Otros factores a considerar, es el tipo de suelo y el sistema de riego, los cuales pueden afectar la actividad del producto. La sobredosis puede causar efectos indeseables como reducción drástica del crecimiento, malformación de inflorescencias y deformaciones en los brotes.

Sin embargo, los tratamientos de paclobutrazol a las cuencas de árboles (el suelo debajo de la zona de goteo del dosel en un radio de 1,5 m del tronco del árbol) pueden dar lugar a su absorción en los árboles y por lo tanto dar lugar a la persistencia de sus residuos en la fruta del mango y en el suelo. Tal persistencia de residuos de paclobutrazol en la fruta del mango puede dar lugar a efectos adversos en la salud humana. La persistencia de los residuos de paclobutrazol en el suelo puede ocasionar problemas de contaminación en los

mantos freáticos, que a su vez también pueden ser un peligro para la salud humana y animal (Debi and Mahesh, 2005). La persistencia de los residuos de paclobutrazol en el suelo puede influir en la actividad microbiana del suelo también. Suelo, donde se aplicó paclobutrazol con frecuencia ha demostrado ser reducido hasta en un 58 % en actividad microbiana (Silva *et al.*, 2003).

Según Silva *et al.* (2014), independientemente de los híbridos que utilizaron, encontraron reducciones en altura de la plántula 30 días después de la emergencia en aproximadamente 23, 32 y 30 %, para las concentraciones de 50, 100 y 150 mg de PBZ L<sup>-1</sup> de agua respectivamente, en comparación con no tratados (0 mg·L<sup>-1</sup>).

Partida *et al.* (2007), al aplicar dosis de 100, 150 y 200 mg·L<sup>-1</sup> de agua en plántulas de chile morrón incremento la longitud de raíz con 61, 67, 1.1, respectivamente, con relación al testigo sin embargo al trabajar con 250 y 300 mg·L<sup>-1</sup> resultaron igual que el testigo.

Mediante dosis de 12 y 24 ml·L<sup>-1</sup>, de paclobutrazol, combinado con 75 y 150 kg de N·ha<sup>-1</sup>, respectivamente, esta sustancia disminuye la altura y madurez de las plantas de maíz, pero también incrementa el grosor del tallo y el rendimiento de materia seca; asimismo, el contenido de clorofila **a** y **b** en relación con las plantas testigo o aquellas que no fueron tratadas con paclobutrazol (Iremerim *et al.*, 2002).

EL PBZ, También induce cambios anatómicos que aumentan el grosor de las hojas, diámetro del tallo y de las raíces; además incrementa la síntesis de almidón en las células de la médula del tallo y en las células corticales de tallos y raíces (Tsegaw *et al.*, 2005).

Según Cárdenas y Rojas (2003), El paclobutrazol causó un efecto de restricción a la brotación vegetativa y estimuló la brotación floral, además adelantó la floración 6 semanas con relación a la floración natural.

En Friederick's *Dendrobium orchid*, el PBZ promueve el desarrollo de yemas en todos los nudos, cuando se aplican en dosis de 0.025, 0.05, 0.075 y 0.1

mg·L<sup>-1</sup>, sin embargo, la mayor inducción floral se obtiene con 0.05 mg·L<sup>-1</sup> (Techato *et al.*, 2009).

Aunado a lo anterior, algunas investigaciones, señalan que PBZ incrementa la vitalidad entendida como la habilidad para tolerar estreses de origen biótico o abiótico (Navarro *et al.*, 2007; Percival and AlBalushi, 2007; Sharma *et al.*, 2011) y el crecimiento de la raíz (Watson, 2000).

#### **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

El presente estudio se realizó en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, ubicado en el km 17.5 carretera Culiacán-Eldorado, durante el ciclo agrícola otoño-invierno 2013-2014. Se utilizaron pepino tipo Slicer cv Alcázar y calabaza cv Adelita. La siembra de ambas especies se hizo el 21 de octubre de 2013, en charolas de poliestireno con 200 cavidades rellenas con peat moss. Las plántulas se regaron con la frecuencia necesaria y se fertilizaron con 1.0 g de N·L<sup>-1</sup> de agua, utilizando urea como fuente de nitrógeno.

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar. Los tratamientos fueron la dosis de 150 mg de PBZ L<sup>-1</sup> de agua y el testigo. Las dosis se aplicaron sólo una vez con un atomizador manual sobre las hojas cotiledonales a los nueve días después de la siembra (dds). En cada unidad experimental, la solución se asperjó con el mismo número de disparos (25) del atomizador y se procuró que cada disparo se hiciera casi con la misma fuerza, hasta que se formaran gotas semejantes al rocío sobre la superficie de las hojas, sin que las gotas escurrieran. En las plantas testigo sólo se roció agua destilada con el mismo procedimiento.

A los nueve días después de la aplicación del PBZ en pepino y calabaza, se evaluó el verdor con un SPAD 502 en una muestra de 20 plantas seleccionadas al azar, en la parte media de una hoja de cada planta; la altura de las plantas de pepino y calabaza se midió a los 13 d después de la aplicación de PBZ, desde la base del tallo hasta la yema apical de la misma. El

área foliar se evaluó mediante el largo y ancho de la primera hoja verdadera a los 20 d después de la aplicación de PBZ. El peso de materia seca de raíz y parte aérea de las plántulas de pepino y calabaza se obtuvo a los 46 d después de la aplicación de PBZ, mediante el secado en estufa durante 72 h hasta peso constante, y se determinó con báscula de precisión.

Las plántulas de pepino restantes se llevaron a casa sombra para evaluar la producción total de pepino.

El otro experimento se hizo en casa sombra con el cultivo de pepino cv Slicer. La siembra fue el 11 de noviembre de 2013, en un suelo vertisol crómico. La separación entre plantas fue de 25 cm. Las parcelas experimentales constaron de dos surcos de 32 m de largo, con separación de 1.6 m entre sí, utilizando sistema de riego por goteo.

Las dosis utilizadas en esta investigación fueron 0 (testigo) que consistió en una población de plantas no tratadas con el citado retardante de crecimiento y 150 mg de PBZ L<sup>-1</sup> de agua que consistió en asperjar la solución en cada unidad experimental, en donde cada unidad experimental constó de 20 plantas seleccionadas al azar .

La dosis de PBZ se aplicó sólo una vez con un atomizador manual sobre el follaje sin gotas de agua en la superficie, con un gasto de agua de 200 L de agua por hectárea.

La solución se asperjó con el mismo número de disparos, un disparo por hoja según la etapa fenológica, en cada unidad experimental, y se procuró que cada disparo se llevara a cabo casi con la misma fuerza. En las plantas testigos se roció agua destilada con el mismo procedimiento.

El efecto del paclobutrazol se evaluó en base a las etapas fenológicas en las que fue asperjada la solución, las cuales fueron; etapa cotiledonal, cuatro, cinco, ocho, doce, dieciocho y veinte hojas verdaderas.

Las variables de estudio a evaluar fueron: verdor con un SPAD 502 en una muestra de 10 plantas seleccionadas al azar, en la parte media de una hoja de cada planta; la altura de las plantas de pepino se midió desde la base del tallo hasta la yema apical de la misma. La cosecha se realizó cuando los frutos alcanzaron la madurez y el tamaño adecuado para el consumo.

Los análisis estadísticos se analizaron con el paquete estadístico MINITAB 16, incluyendo la comparación de medias con la prueba de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ).

## V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En el verdor de las hojas del pepino se detectaron diferencias significativas, de tal manera que con la dosis de  $150 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de agua el incremento fue del 26 % con respecto al testigo (Cuadro 1), mientras que la altura disminuyó en 24 % y el área foliar 40 %, comparados con los promedios del testigo. En materia seca de la raíz y parte aérea, el PBZ fue eficaz para inducir mayor acumulación, 21.9 % más en raíz, y 12.8 % más en la parte aérea. En producción no se detectaron diferencias estadísticas.

Cuadro 1. Verdor, altura, área foliar, materia seca de raíz y parte aérea de plántulas de pepino y producción.

| Dosis                                | Verdor<br>(unidades<br>Spad) | Altura<br>(cm) | Área<br>foliar<br>( $\text{cm}^2$ ) | Materia<br>seca de<br>raíz (g) | Materia<br>seca de<br>parte<br>aérea (g) | Producción<br>$\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ |
|--------------------------------------|------------------------------|----------------|-------------------------------------|--------------------------------|--|---|
| 150<br>$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | 41.755 a                     | 8.93 b         | 9.71 b                              | 0.1250 a                       | 0.6400 a                                 | 0.59 a                                      |
| 0<br>(testigo)                       | 33.080 b                     | 11.75 a        | 16.20 a                             | 0.1025 b                       | 0.5675 b                                 | 0.58 a                                      |

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

El incremento del verdor en las dos especies utilizadas en esta investigación, tiene relación con lo que Berova and Zlatev (2000), reportaron en cuanto a que con el PBZ se induce mejora en la actividad fotosintética de plántulas de tomate, ya que al incrementar el verdor (clorofila) en las plántulas, el proceso fotosintético también se incrementó. También tienen relación con los de Watson (1996), ya que este autor refiere que el PBZ incrementa el crecimiento de raíces, y con esta investigación eso fue lo que se observó en las dos

especies; asimismo, con los de Berova and Zlatev (2000), ya que ellos observaron que con  $1.0 \text{ mg.L}^{-1}$  de agua aplicado al suelo, o con  $25 \text{ mg.L}^{-1}$  en aplicación foliar, el PBZ aumenta el desarrollo de raíces en plántulas de tomate.

En la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq), el PBZ incrementa la superficie epicuticular de las raíces, el color verde de las hojas y el contenido total de clorofila a  $3.54 \text{ mg.g}^{-1}$  de peso fresco (Te-chato *et al.*, 2009).

En altura de plántulas y peso seco de raíces, los resultados que se obtuvieron también tienen relación con los de Partida *et al.* (2007), quienes encontraron que con dosis de 100, 150, 200, 250, 300, 350  $\text{mg.L}^{-1}$ , el PBZ retardó el crecimiento en la altura, pero incrementó el peso seco de raíces de las plántulas de pimiento. Asimismo, con los resultados publicados por Giovinazzo and Souza (2001), ya que estos autores observaron que el PBZ redujo hasta en 45 % el tamaño de plántulas de tomate, y con los de Velázquez *et al.* (2008), quienes encontraron que en plantas de tomate cv. 'Río Grande', el PBZ retarda el crecimiento cuando se aplica foliarmente en dosis de 100, 150 ó 200  $\text{mg.L}^{-1}$  de agua, en plantas de dos a cuatro hojas verdaderas.

De acuerdo con Fletcher *et al.* (2000), la reducción en la altura de las plántulas causada por la aplicación de PBZ está ligada a la inhibición de ent-kaureno a Ent-kaurenoico conversión a ácido, lo que resulta en niveles reducidos de ácido giberélico, con la consiguiente disminución en la tasa de alargamiento y la división celular. Se ha demostrado que el paclobutrazol reduce 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).

Nascimento *et al.* (2003), estudiaron el efecto de la aplicación foliar de PBZ 0,2 % en plántulas de tomate a los 24 días después de la siembra, se encontró una reducción del 35 % en la altura de la planta. El mismo resultado obtuvo Seleguini (2007), mediante dosis crecientes de PBZ de 0 a 50 o 100  $\text{mg L}^{-1}$ .

Los resultados en altura de las plántulas también coinciden con los de Bai *et al.* (2004); George and Nissen, (2002); Grochowska *et al.* (2004); Keever *et al.*

(1990); Singh (2000) and Williams *et al.* (2003), ya que estos autores han reportado que el PBZ, una vez absorbido y traslocado a la copa de las plantas, provoca reducción del crecimiento en longitud de los brotes nuevos. Por el lado de la disminución del tamaño de las hojas, los resultados aquí expuestos coinciden con los de Burch *et al.* (1996), puesto que ellos descubrieron que el PBZ, además de reducir la elongación de brotes, reduce la expansión de hojas en muchas especies de árboles. En tanto que los resultados en materia seca de raíces y de la parte aérea son coincidentes con los de Partida *et al.* (2007), toda vez que ellos descubrieron que en plántulas de pimiento morrón y berenjena, con la dosis de 150 mg de PBZ L<sup>-1</sup> de agua se incrementó la materia fresca y seca de raíz y la materia seca de la parte aérea.

En calabaza (Cuadro 2), el verdor se incrementó 15.1 %, la altura disminuyó 34.4 %, pero el área foliar, así como el peso seco de la raíz y de la parte aérea fueron estadísticamente iguales, con respecto a los promedios que se obtuvieron en el testigo. Sin embargo, en materia seca de raíz hubo un incremento porcentual de 56.6.

Cuadro 2. Verdor, altura, área foliar y materia seca de raíz y parte aérea de plántulas de calabaza.

| Dosis                  | Verdor<br>(unidades<br>Spad) | Altura<br>(cm) | Área foliar<br>(cm <sup>2</sup> ) | Materia seca<br>de<br>raíz (g) | Materia seca<br>de parte<br>aérea (g) |
|------------------------|------------------------------|----------------|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| 150 mg·L <sup>-1</sup> | 49.445 a                     | 9.85a          | 16.62 a                           | 0.130 a                        | 1.150 a                               |
| 0 (testigo)            | 42.965 b                     | 15.00 b        | 16.70 a                           | 0.083 a                        | 1.215 a                               |

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey  $P \leq 0.05$ .

El incremento del verdor, que tiene estrecha correlación con el contenido de clorofila, coincide con lo reportado por Percival and Albalushi (2007), ya que ellos también encontraron más clorofila en las plantas tratadas con PBZ, pero discrepa con los resultados reportados por Martínez *et al.* (2013), porque ellos observaron disminución de los valores de la fluorescencia de clorofila (Fv/Fm). Según Lopes *et al.*, (2004), la medición de área foliar, proporciona un indicador clave para la compensación de las respuestas de las plantas a los factores ambientales. En tanto que los resultados en materia seca de raíces y de la parte aérea son coincidentes con los de Partida *et al.* (2007), toda vez que ellos

descubrieron que en plántulas de pimiento morrón y berenjena, con la dosis de 150 mg de PBZ L<sup>-1</sup> de agua se incrementó la materia fresca y seca de raíz y la materia seca de la parte aérea.

Estos resultados corroboran los obtenidos por Seleguini (2007), cuando observó que la aplicación de PBZ aumentó significativamente el peso seco de las raíces de tomate AF 7631, pero difieren en Born *et al.* (2003) and Velázquez, *et al.* (2008), donde observaron reducción en la acumulación de materia seca en la parte aérea y raíz en plántulas de tomate.

Un resultado positivo en el crecimiento saludable de la formación de raíces dio la alta tasa de supervivencia después de la transferencia a las condiciones del suelo o en el campo. Además de los reguladores de crecimiento de la planta, el nivel de sacarosa en el medio se jugó un papel importante en el crecimiento y desarrollo de la formación de raíces (Fuentes *et al.*, 2005).

El uso del paclobutrazol, reduce la materia seca aérea, aumenta la materia seca radicular e incrementa la calidad de muda producida (Silva *et al.*, 2014).

El PBZ ocasiona que en maíz (cultivares 3902 de PIONER y Orgullo 5) los cloroplastos sean más grandes, se incremente el número de lamelas del estroma y el de las pilas de grana y así almacenar más clorofila, Según Salisbury y Ross (2000).

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Seleguini (2007), quien observó que con la aplicación de PBZ aumenta significativamente la masa seca de raíz de tomate AF7631.

En verdor se detectaron diferencias significativas entre las diferentes etapas donde se aplicó PBZ con dosis de 150 mg·L<sup>-1</sup> de agua en relación a las testigos (Cuadro 3), de tal manera que el mayor incremento de verdor se observó en las plantas donde se le aplicó PBZ en etapa cotiledonal, cuatro y cinco hojas con valores porcentuales de 28, 2 y 2, en relación a las plantas testigos, aunque el verdor de las últimas dos etapas resulta ser estadísticamente igual a las plantas testigos. Las plantas tratadas en etapa cotiledonal fueron las más

eficaces para retardar el crecimiento de altura, en cambio, la mayor altura se obtuvo en las plantas testigos siendo estadísticamente igual a las plantas tratadas cuando tenían cuatro y cinco hojas verdaderas.

Cuadro 3. Verdor, altura de plantas de pepino cuando estuvieron en la etapa fenológica de Hojas cotiledonales, cuatro y cinco hojas verdaderas.

| Etapa        | Verdor<br>(unidades<br>Spad) | Altura<br>(cm) |
|--------------|------------------------------|----------------|
| Cotiledonal  | 46.67 a                      | 11.3 b         |
| Cuatro hojas | 37.18 b                      | 27.5 a         |
| Cinco hojas  | 36.92 b                      | 27.9 a         |
| Testigo      | 36.52 b                      | 41.6 a         |

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

Los resultados obtenidos en las plantas de pepino, después de que fueron tratadas con dosis de  $150 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de agua en las etapa cotiledonal, cuatro y cinco hojas verdaderas son muy coincidentes con lo reportado por Sakar *et al.* (2004), en relación a que el paclobutrazol aplicado en brotes dio casi dos veces más clorofila que el control. Resultados similares fueron reportados en plántulas de cebada (Sakar *et al.*, 2004) y tomate (Still and píldora, 2004). Fletcher *et al.* (2000), mencionaron que el PBZ como es uno de los grupos de los triazoles, estimula la síntesis de citoquinina que mejora la diferenciación de cloroplasto, la biosíntesis de clorofila y previene la degradación de la clorofila. Por otra parte, Techato *et al.* (2008), demostraron que la citoquinina era necesario para la generación de la clorofila en el aceite de palma cultivo en suspensión de células. El mecanismo de KN o citoquinina en la formación de cloroplastos no se entendía con claridad. Podría implicar en la división celular y algunas síntesis de proteínas en relación con el desarrollo del cloroplasto. Se sugiere que PBZ puede implicar en la formación de citoquinina, especialmente kinetina.

Respecto a la altura de las plantas, las plantas tratadas con PBZ fueron las más eficaces para retardar su crecimiento y estos resultados contrastan con lo reportado por (Berova and Zlatev, 2000; Giovanazzo and Souza, 2001; Nascimento *et al.*, 2003; Silva and Junior, 2011), ya que ellos en algunos estudios han demostrado que el uso de paclobutrazol ha influido en la reducción del crecimiento del tomate. Nascimento *et al.* (2003), estudiaron el

efecto de la aplicación foliar de PBZ 0,2 % en plántulas de tomate a los 24 días después de la siembra, se encontró una reducción del 35 % en la altura de la planta. El mismo resultado se obtuvo mediante dosis crecientes de PBZ de 0 a 50 o 100 mg·L<sup>-1</sup> (Seleguini 2007).

Con las plantas tratadas con PBZ en sus diferentes etapas, el verdor ocurrió con diferencias significativas en relación a las plantas testigos (Cuadro 4).

El mayor incremento en verdor se observó en las plantas que recibieron la dosis de 150 mg de PBZ L<sup>-1</sup> de agua, aunque el verdor en la etapa de veinte hojas fue estadísticamente igual a las que manifestaron las plantas testigo, en valores porcentuales las plantas tratadas con PBZ superaron al testigo con 16%. La mayor altura fue observada en las plantas tratadas con PBZ en etapa de doce hojas, en tanto el resto de las plantas tratadas con PBZ resultaron ser estadísticamente igual a las testigos. Sin embargo, en etapa de dieciocho y veinte hojas, tuvieron un incremento porcentual de 23 y 6, respectivamente.

Cuadro 4. Verdor y altura de plantas de pepino cuando estuvieron en la etapa fenológica de doce, dieciocho y veinte hojas verdaderas.

| Etapa           | Verdor<br>(unidades<br>Spad) | Altura<br>(cm) |
|-----------------|------------------------------|----------------|
| Doce hojas      | 59.83 a                      | 187.0 a        |
| Dieciocho hojas | 55.48 a                      | 155.0 b        |
| Veinte hojas    | 52.88 ab                     | 134.4 b        |
| Testigo         | 45.69 b                      | 126.3 b        |

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

El incremento de verdor de las plantas en diferentes etapas son muy coincidentes con lo registrado por Iremerim *et al.* (2002), en relación a que el PBZ incrementa el verdor y por ende el contenido de clorofila, ya que ellos mediante dosis de 12 y 24 ml·L<sup>-1</sup>, de paclobutrazol, combinado con 75 y 150 kg de N·ha<sup>-1</sup>, respectivamente, incrementa el contenido de clorofila a y b en relación con las plantas testigo o aquellas que no fueron tratadas con paclobutrazol (Iremerim *et al.*, 2002). El incremento del verdor, que tiene estrecha correlación con el contenido de clorofila, coincide con lo reportado por Percival and Albalushi (2007), ya que ellos también encontraron más clorofila en las plantas tratadas con PBZ, pero discrepa con los resultados reportados

por Martínez *et al.* (2013), porque observaron disminución de los valores de la fluorescencia de clorofila (Fv/Fm).

Cuando el PBZ fue aplicado en la etapa de doce, dieciocho y veinte hojas, los resultados no concuerdan con las etapas anteriormente reportadas. 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 and Graebe (1985); Early and Martín (1988); Rademacher (2000) and Tadao *et al.* (2000). Aunque la coincidencia sólo fue con los resultados logrados a través de la dosis de 150 mg·L<sup>-1</sup> de agua en la etapa cotiledonal, cuatro y cinco hojas, ya que con las plantas donde se le aplicó PBZ en las etapas de doce, dieciocho y veinte hojas, el crecimiento se incrementó más que en las testigo. Barrett and Bartuska (1982), mencionan 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. De tal manera que se puede lograr a retardar el crecimiento de plantas de pepino cuando se encuentran en la etapa fenológica de hojas cotiledonales, cuatro y cinco hojas verdaderas. Los resultados de este estudio coinciden con los obtenidos por Bai *et al.*, 2004; George and Nissen, 2002; Grochowska *et al.*, 2004; Keever *et al.*, 1990; Singh, 2000; Williams *et al.*, 2003, también han reportado que entre los reguladores de crecimiento se encuentra el paclobutrazol (PBZ), un inhibidor de las giberelinas que se aplica como solución al suelo donde se localizan las raíces de los árboles, que una vez absorbido y translocado a la copa, éste provoca una reducción de crecimiento en longitud y diámetro de los brotes nuevos. Los triazoles, como el paclobutrazol, son extremadamente activos y efectivos para retardar la altura de las plantas, a muy bajas concentraciones (Wilfret, 1981) y son más efectivos cuando se aplican al tallo o a la zona radicular de la planta (Barrett and Bartuska, 1982).

El PBZ es un retardante con frecuencia usado en las plantas ornamentales para controlar su crecimiento y compactarlas, de tal manera que en plántulas de la especie *Nerium oleander* L. reduce significativamente todos los parámetros de crecimiento ocasionando plantas más compactas y de buen

valor comercial, cuando se aplica al suelo; sin embargo, con ese procedimiento suele ser persistentes en el suelo (Ochoa *et al.*, 2009).

En plantas de pepino (Cuadro 5), la mayor producción se obtuvo en las plantas que recibieron las dosis de PBZ en las etapas de veinte, doce y dieciocho con valores porcentuales inferiores al testigo en: 55, 21 y 6, respectivamente.

Cuadro 5. Producción de pepino cuando estuvieron en etapa cotiledonal, cuatro, cinco, ocho, doce, dieciocho y veinte hojas.

| Etapa        | Producción<br>( t ha <sup>-1</sup> ) |
|--------------|--------------------------------------|
| Cotiledonal  | 7.56 cd                              |
| Cuatro hojas | 3.65 d                               |
| Cinco hojas  | 4.66 d                               |
| Ocho hojas   | 5.72 d                               |
| Doce hojas   | 10.70 bc                             |
| Diesiocho    | 12.15 a                              |
| Veinte       | 15.61 a                              |
| Testigo      | 10.08 bc                             |

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

Los resultados permiten deducir el PBZ a dosis de 150 mg·L<sup>-1</sup> de agua aplicado en etapa de veinte hojas fue la que más incremento la producción en plantas de pepino. Al respecto Rademacher (2000), menciona que la aplicación de inhibidores del crecimiento en cultivos hortícolas se hace para reducir el crecimiento longitudinal del tallo, sin disminuir su productividad. En papa el paclobutrazol disminuye la altura de la planta, la tasa de crecimiento del cultivo y la distribución de asimilados hacia hojas, tallos, raíces y estolones, y la incrementa en los tubérculos (Balamani and Poovaiah, 1985); o reduce la biomasa de la planta completa (Tekalign and Hammes, 2005) y el rendimiento de minitubérculos (Hughes and Keith, 2003). Según Lilly (2001), la respuesta de las especies a los reguladores de crecimiento son diversas: hay alteración de compuestos en las yemas, redistribución de fotosintatos destinados al crecimiento de la copa hacia compuestos de defensa, crecimiento del sistema radical y almacenamiento de energías. Con la reducción en el crecimiento de las plantas que ocasiona el PBZ, se incrementa el almacenamiento de carbohidratos (sustancias de reserva de las plantas) y también se incrementa la producción de clorofila y con ello la de carbohidratos (Percival and Albalushi, 2007).

## VI. CONCLUSIONES

La dosis de 150 mg de PBZ L<sup>-1</sup> de agua, aplicado sobre hojas cotiledonales, fue eficaz para incrementar el verdor de las plántulas de pepino y calabaza, así como para incrementar la materia seca de raíz y parte aérea del pepino, ya que en calabaza sólo ocasionó mayor cantidad de materia seca de raíz, de tal manera que dicha dosis de PBZ puede ser utilizada para aplicarse en la etapa de hojas cotiledonales para producir plántulas más compactas.

La aplicación de PBZ a dosis de 150 mg·L<sup>-1</sup> en etapa cotiledonal, cuatro, cinco, ocho, doce, dieciocho y veinte hojas, incrementó el contenido de verdor, pero solo disminuyó la altura de las plantas cuando se aplicó PBZ en etapa cotiledonal, cuatro y cinco hojas, el resto de las etapas donde se aplicó PBZ, el crecimiento se incrementó, lo que indica que el PBZ puede retardar o incrementar el crecimiento y esto no sólo depende de sus concentración en la solución, sino también de la edad de la planta y del lugar de aplicación.

Donde se aplicó PBZ en las etapas de veinte hojas incrementó su producción total en un 55 % en relación a las testigos.

## VII. LITERATURA CITADA

- Ali, A. R. 2009. Improving germination performance and chilling tolerance in cucumber seedlings with paclobutrazol. *Internacional Journal of Vegetable Science*, 15 (2): 173–184.
- Arias, S. 2007. Manual de producción, producción de pepino. Disponible en: [www.innovacion.gob](http://www.innovacion.gob). (Consulta, junio de 2014).
- Asare, B. N. K., Hofstra, R. A., Fletcher, R. A and Dumbroff, E. B. 1986. Triadimefon protects bean plants from water stress through its effects on abscisic acid. *Plant Cell Physiol*. 27: 383–390.
- Bai, S., Chaney, W., and Qi, Y. 2004. Response of cambial and shoot growth in trees treated with paclobutrazol. *Journal Arboriculture* 30 (3): 137-145.
- Balamani, V., and Poovaiah, B. W. 1985. Retardation of shoot growth and promotion of tuber growth of potato plants by paclobutrazol. *Amer. Potato Jour.* 62: 363-369.
- Bano, A., Dorffling, K., Bettin, D., and Hahn, H., 1993. Abscisic acid and cytokinins as possible root-to-shoot signals in xylem sap of rice plants in drying soil. *Aust. J. Physiol.* 20: 109–115.
- Bañón, S., González, A., Cano, E. A., Franco, J. A., y Fernández, J. A. 2002. Growth, development and colour response of potted *Dianthus caryophyllus* cv. Mondrian to paclobutrazol treatment. *Sci. Hort.* 94: 371–377.
- Bañón, S., Fernández, J. A., Ochoa, J., y Sánchez-Blanco, M. J., 2005. Paclobutrazol as an aid to reduce some effects of salt stress in oleander seedlings. *Eur. J. Hort. Sci.* 70 (1): 43–49.
- Barazesh, S., and McSteen, P. 2008. Hormonal control of grass inflorescence development. *Trends Plant Sci* 13: 656–62.
- Barrett, J. E., and Bertuska, C. A. 1982. PP333 effects on stem elongation dependent on site of application. *HortScience* 17: 737-738.
- Berova, M., and Zlatev, Z. N. S. 2002. Effect of paclobutrazol on wheat seedlings under low temperature stress. *bulg. j. plant physiol.* 28 (1–2): 75–84

- Burch, P. L., Wells, R. H., and Kline, W. N. 1996. Red maple and silver maple growth evaluated 10 years after application of paclobutrazol tree growth regulator. *Journal Arboriculture* 22: 61-66.
- Burondkar, M. M., and Gunjate, R. T., 1991. Regulation of shoot growth and flowering in Alphonso mango with paclobutrazol. *Acta Hort.* 291: 79–82.
- Campos, K. O., and Kerbauy, G. B. 2004. Thermoperiodic effect on flowering and endogenous hormonal status in *Dendrobium* (*Orchidaceae*). *J Plant Physiol.* 161:1385–7.
- Cárdenas, K., y Roja, E. S. 2003. Efecto del paclobutrazol y los nitratos de potasio y calcio sobre el desarrollo del mango 'tommy atkins'. *Bioagro* 15 (2).
- Carrera, E., Bou. J., García, M. JL., and Prat, S. 2000. Changes in GA20-oxidase gene expression strongly affect stem length, tuber induction and tuber yield of potato plants. *Plant* 22: 247–56.
- Clouse, S., and Sasse, J. M. 1998. Essential Regulators of Plant Growth and Development. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49:427–51.
- Cohen, R., Yarden, O., Katan, J., Riov, J., and Lisker, N., 1987. Paclobutrazol and other plant growth-retarding chemicals increase resistance of melon seedlings to *Fusarium* wilt. *Plant Pathol.* 36 (4): 558–564.
- Coles, J. P., Phillips, A. L., Croker, S. J., García, L. R., Lewis, M. J.O., and Hedden, P. 1999. Modification of gibberellin production and plant development in *Arabidopsis* by sense and antisense expression of gibberellin 20-oxidase genes. *Plant J* 17: 547–56.
- Davenport, T. 1993. Floral manipulation in mangos, *Proceedings of the Conference in Mango in Hawaii*. L.E. Chia and D. O. Evans (eds.). Cooperative Extension Service. University of Hawaii. Honolulu, USA. pp. 54-60.
- Davies, P. J. 2004. *Plant hormones: biosynthesis, signal transduction action* 3rd ed. Dor-drecht, The Netherlands: Springer.

- Debi, S., Mahesh, D., and Awasthi. 2005. La captación de suciedad aplicada en mango (*Mangifera indica* L.) y su persistencia en la fruta y el suelo. *Edafología y Química Agrícola*, Instituto Indio de Investigación Hortícola, Hesaraghatta. *Chemosphere* 60: 164-169.
- Early, J., D., and Martín, G., C. 1988. Translocation and breakdown of <sup>14</sup>C-labelled paclobutrazol in Nemaguard peach seedlings. *HortScience* 23(1): 196-200.
- Fagoaga, C., Tadeo, F. R., Iglesias, D. J., Huerta, L., Lliso, I., and Vidal, A. M. 2007. Engineering of gibberellin levels in citrus by sense and antisense overexpression of a GA 20-oxidase gene modifies plant architecture. *J Exp Bot* 58:1407–20.
- Fletcher, R. A., and Hofstra, G. 1985. Triadimefon - a plant multi-protectant. *Plant Cell Physiol.* 26: 775-780.
- Fletcher, R. A., and Hofstra, G. 1988. Triazoles as potential plant protectants. In: BERG, D. and M. PLEMPEL (eds.): *Sterol Synthesis Inhibitors in Plant Protection*, pp. 321-331. Ellis Horwood Limited, Cambridge.
- Fletcher, R. A., Gilley, A., Sankhla, N., Davis, T. 2000. Triazoles as plant growth regulators and stress protectants. *Horticultural Reviews* 24: 55-138.
- Fletcher, R. A., Gilley, A., Sankhla, N., and Davis, T. D., 2000. Triazoles as plant growth regulators and stress protectants. *Hort. Rev.* 24: 55–138.
- Fletcher, R. A., and Kraus, T.E., 1995. Triazoles: protecting plants from environmental stress. In: Meerveld, R. (Ed.), *Agri-Food Research*, pp. 15–17.
- Fuentes, G., Talavera, C., Opereza, C., Desjardins., and Santamaria, J. 2005. Exogenous sucrose can decrease in vitro photosynthesis but improve field survival and growth of coconut (*Cocos nucifera* L.) in vitro plantlets. *In vitro Cell Dev Biol Plant* 41: 69-76.
- Galán, D. V. 2000. Control de crecimiento y desarrollo en mango. *Memorias del Simposium de Mango: Control de floración y mejoramiento genético*. Apatzingán, Michoacán. 94-105.

- Gao, J. G., Hofstra, R. and Fletcher, 1988. Anatomical changes induced by triazoles in wheat seedlings. *Can. J. Bot.*, 66: 1178–1185.
- George, A. P., and Nissen R. J. 2002. Control of tree size and vigor in custard apple (*Annona spp.* hybrid) cv. African Pride in subtropical Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 42(4): 503-512.
- Giovinazzo, R., and Souza, M. V. 2001. Paclobutrazol responses with processing tomato in France. *Acta Horticulturae*. 542: 355-358.
- Gopi, R., Abdul, J. Ch., Divyanair, V., Azooz M. M., and Panneerselvam, R. 2009. Effect of pacloburazol and ABA on total phenol contents in different parts of holy basil (*Ocimum sanctum*). *Acad.J. of plant Sci.* 2 (2): 97-101.
- Grossmann, K., 1990. Plant growth retardants as tools in physiological research. *Physiol. Plant.* 78, 640–648.
- Graebe, J. E., 1987. Gibberellin biosynthesis and control. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 38: 419–465.
- Grochowska, M. J., Hodun, M., and Mika, A. 2004. Improving productivity of four fruit species by growth regulators applied once in ultra-low doses to the collar. *The Journal of Horticulture & Science Biotechnology*. 79(2): 252-259.
- Hadden, P. and Graebe, J. E. 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.
- Hannapel, J. D., Chen, H., Rosin, M. F.; Banerjee, K. A., and Davies, J. P. 2004. Molecular control of tuberization. *Amer. Jour. of Potato Research*. 81: 263-274.
- Hickman, G. W., Perry, E. J., Mullen, R. J., and Smith, R. 1989. Growth regulator controls tomato transplant height. *California Agriculture*. 43(5): 19-20.
- Hubick, K. T., Taylor, J. S., and Reid, D. M., 1986. The effect of drought on levels of abscisic acid, cytokinins, gibberellins and ethylene in aeroponically grown sunflower plants. *Plant Growth Regulat.* 4: 139–151.

- Hughes, B. R., and Keith, C. N. F. 2003. Effect of paclobutrazol treatments on growth and tuber yields in greenhouse grown Shepody seed potatoes. *Acta Horticulturae*. 619: 271-277.
- Iremiren, G. O., Adewumi, P. O., Adulujo, S. O., and Ibitoye, A. A. 2002. Effect of paclobutrazol and nitrogen fertilizer on the growth and yield of maize. *J. of Agric. Sci.* 128: 425-430.
- Iqtidar, A. K., and Hidayat, U. R. 1995. Effect of paclobutrazol on growth, chloroplast pigments and sterol biosynthesis of maize (*Zea mays* L.). *Plant Science*.105: 15-21.
- Kamounsis, A. P., and Chronopoulou, S. A. G. 1999. Paclobutrazol affects growth and flower bud production in gardenia under different light regimes. *Hort Sci.* 34 (4): 674–5.
- Keever, G. J., Foster, W. J., and Stephenson, J. C. 1990. Paclobutrazol inhibits growth of woody landscape plants. *Journal of Environmental Horticulture*. 8(1): 41-47.
- Khalil, L. A., and Mercer, E. I. 1990. Effect of diclobutrazol on the growth, sterol and photosynthetic pigment content of winter wheat. *Pestic Sci.*, 28: 271-281
- Khalil, L. A., Mercer, E.I., and Wang, Z. X. 1990. Effect of triazole fungicides on the growth, chloroplast pigments and sterol biosynthesis of maize. *Plant Sci.* 66: 21-28.
- Koller, W. 1987. Isomers of sterol synthesis inhibitor: Fungicidal effects and plant growth regulator activities. *Pestic. Sci.* 18: 129-147.
- Kopyra, M., and Gwozdz, E. A. 2003. Antioxidant enzymes in paraquat and cadmium resistant cell lines of horseradish. *Biol Lett* . 40:61–9.
- Kraus, T.E., and Fletcher, R. A., 1994. Paclobutrazol protects wheat seedlings from heat and paraquat injury. *Plant Cell Physiol.* 35: 45–52.
- Krishnamoorthy, H. N. 1981. *Plant growth Substances. Including applications in Agriculture.* Editorial McGraw- Hill Publishing Company Limited, USA. 214.

- Li, M., and Zhang, G. 1999. Effects of paclobutrazol on the morphology, structure, and chlorophyll content of regenerated plantlets of maize. *Isr J Plant Sci.* 47:85–8.
- Lilly, S. J. 2001. Arborists' certification study guide. International Society of Arboriculture, Champaign, IL. 222 p.
- Liyembani and Taylor, 1989. Growth and development of young peach trees as influenced by foliar sprays of paclobutrazol or XE-1019. *Hortscience.* 24: 65-68.
- Lopes, C. M., Andrade, I., Pedroso, V., and Martins, S. 2004. Modelos empíricos para estimativas da área foliar da videira na casta jaen. *Ciência e Técnica Vitivinícola.* 19: 61-75.
- Lopes, C. M., Andrade, I., Pedroso, V., and Martins, S. 2004. Modelos empíricos para estimativas da área foliar da videira na casta jaen. *Ciência e Técnica Vitivinícola.* 19: 61-75.
- Malgorzata, B. Z., and Zlatev, N. S. 2002. Effect of paclobutrazol on wheat seedlings under low temperature stress. *plant physiol.* 28(1–2): 75–84
- Mariscal, A., E. Lozoya, S., H y Colinas, L., M. T. 1992. Efecto del paclobutrazol (PP333, bonzo) sobre el crecimiento y floración de hortensia (*Hydrangea macrophylla Thunb*). *Chapingo S Hort.* 78: 11-13.
- Marshall, J. G., Rutledge, R. G., Blumwald, E., and Dumbroff, E.B., 2000. Reduction in turgid water volume in jack pine, white spruce and black spruce in response to drought and paclobutrazol. *Tree Physiol.* 20: 701–707.
- Marshall, J. G., Scarratt, J. B., and Dumbroff, E. B., 1991. Induction of drought resistance by abscisic acid and paclobutrazol in jack pine. *Tree Physiol.* 8: 415–421.
- Martínez, J. A., Navarro, A., Fernández, J. A., y Bañón, S., 2007. Delaying in vitro growth of *Botrytis cinerea* isolated from *Chamelaucium uncinatum* by paclobutrazol. *Aust. Plant Pathol.* 36 (1), 1–7.

- Martínez, T. T., Plascencia E. F. O. y Cetina A. V. M. 2013. Crecimiento y vitalidad de *Populus alba* L. con desmoche y tratado con paclobutrazol. *Revista Chapingo Serie Horticultura*.19(3): 381-388.
- McDaniel, G. L. 1986. Comparison of paclobutrazol, flurprimidol, and tetcyclacis for controlling poinsettia height. *HortScience*. 21(5): 1161-1163.
- Mercer, E. I. 1984. Inhibition of sterol 14cr-demethylase enzymes. *Biochem. Sot. Trans. (UK)*. 11: 663-665.
- Mercier, J., 1999. Use of the growth regulator paclobutrazol in the management of dollar spot of creeping bentgrass in Minnesota. *Phytoprotection*. 80: 65–70.
- Murti, G. S. R., Upreti, K. K., Kurian, R. M., and Reddy, Y. T. N. 2001. Paclobutrazol modifies tree vigour and flowering in mango cv. Alphonso. *Indian Journal of Plant Physiology*. 6(4): 355–360.
- Nascimento, M., W. Salvagio, R y Silva, C., J. 2003. Condicionamento químico do crescimento de mudas de tomate. *Hort. Brasileira*. 21(2): 1-3.
- Navarro, A., Sánchez B. M. J. and Bañón S. 2007. Influence of paclobutrazol on water consumption and plant performance of *Arbutus unedo* seedlings. *Scientia Horticulturae*.111(2): 133-139.
- Nizam, K. and Te-chato, S. 2009. Optimizing of root induction in oil palm plantlets for acclimatization by some potent plant growth regulators (PGRs). *Journal of Agricultural Technology Vol. 5(2): 371-383*
- Ochoa, J., Franco J. A., Bañón, S. and Fernández, J. A. 2009. Distribution in plant, sustrate and leachate of paclobutrazol following application to containerized *Nerium oleander* L. seedlings. *J. Agric. Res.* 7 (3):621-628.
- Osuna, G., J. A. Baez, S., R. Medina, U., y Chávez, C. 2001. Residualidad de paclobutrazol en frutos de mango (*Mangifera indica* L.) cultivar Tommy Taquín. *Rev. Chapingo S. Hort.* 7(2): 275-282.
- Pallardy, S. G. 2008. *Physiology of Woody Plants*. Tercera edición. Academic Press. New York, UAS. 464 p.

- Partida, R. L., Velázquez, A. T de J, Acosta, V, B., Díaz, V, T., and Low, J. 2005. Eficacia del paclobutrazol para retardar el crecimiento de plántulas de tomate. Rev. Téc. Cient. Cidefruta. 1:13-17.
- Partida, R., L. Velázquez, A., T. de J. Díaz, V., T. Ayala, T., F y Acosta, V., B. 2007. Crecimiento de raíz y parte aérea de plántulas de pimiento morrón y berenjena tratadas con paclobutrazol. Rev. Fitot. Mexicana 30(10):145-150.
- Percival, G. C., and Albalushi, A. M. S. 2007. Paclobutrazol-induced drought tolerance in containerized English and ever-green oak. Arboriculture & Urban Forestry. 33(6): 397-409.
- Pisarczyk, J. M., and Splittstoesser, W. E. 1979. Controlling Tomato Transplants Height with Chlormequat, Daminozide and Etephon. J Amer. Soc. Hort. Sci. 104: 342-344.
- Possingham, J. V. 1980. Plastid replication and development in the life cycle of higher of the plants. Annual Review of plant physiology 31: 113-129.
- Rademacher, W. 1995. Growth retardants: biochemical features and applications in horticulture. Acta Hort. 394: 57-73.
- Rademacher, W., Fritsch, H., Grabe, J. E., Sautee, H., and Jung J. 1987. Tetcyclacis and triazole-type plant growth retardants: their influence on the biosynthesis of gibberellins and other metabolic processes. Pestic. Sci. 21: 241-252.
- Rademacher, W. 2000. Growth retardants: Effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. Annual Review of Plant Physiology 51: 501-531.
- Roberts, J., A., and Hooley, R. 1988. Plant Growth Regulators. Chapman and Hall, New York. 190 pp.
- Rodríguez, K., Aranguren, M., and Farrés E. 2007. Efecto del paclobutrazol en el desarrollo vegetativo e inicio de la floración en dos cultivares de mango (*Mangifera indica* L.). Memorias del II Simposio Internacional de Fruticultura Tropical y Subtropical. La Habana, Cuba. s/p.

- Rojas, G. M., y Rovalo, M. 1985. Fisiología Vegetal Aplicada. McGraw-Hill. D. F. 302 pp.
- Ruter, J. M. 1994. Growth and landscape establishment of *Pyracantha* and *Juniperus* after application of paclobutrazol. *HortScience*. 29:1318-1320.
- Sarkar, S., Michel, R., Perras, S., Duane, E., Ruichuan, Z. and Richard, P.P. 2004. Relationship between gibberellins, height and stress tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.) seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation*. 42: 125-135.
- Salazar, G. S., y Vázquez, V. V. 1997. Physiological persistence of paclobutrazol on the 'Tommy Atkins' mango (*Mangifera indica* L.) under rainfed conditions. *Journal of Horticultural Science*. 72(2): 339-345.
- Salisbury, F. B., and Ross C. W. 2000. Fisiología de las plantas. Paraninfo Thomson Learning, Madrid, España. 988p.
- Santos, C. H., Klar, A. E., Grassi Filho, H., Rodríguez, J. D., and Pierre, F. C. 2004. Indução do florescimento e crescimento de tangerineira poncã (*Citrus reticulata* Blanco) em função da irrigação e da aplicação de paclobutrazol. *Revista Brasileira de Fruticultura* 26: 8-12.
- Seleguini, A. 2007. Uso de paclobutrazol na produção de mudas, no crescimento produção e qualidade de frutos de tomateiro em ambiente protegido. 100f. (Tese de Doutorado) –Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, Brasil.
- Shaltout, A. D., Salem, A. T. and Kilany, A. S. 1988. Effect of pre-bloom sprays and soil drenches of paclobutrazol on growth, yield and fruit composition of 'Roumi' grapes. *J. Am. Sot. Hort. Sci.* 113: 13-17.
- Sharma, D. K., Dubey, A. K., Srivastav, M. and Singh, A. K., Sairam, R. K., Pandey, R. N., Dahuja, A., and Kaur, C. 2011. Effect of putrescine and paclobutrazol on growth, physiochemical parameters, and nutrient acquisition of saltsensitive citrus rootstock Karna khatta (*Citrus karna Raf.*) under NaCl stress. *Journal of Plant Growth Regulation*. 30 (3): 301-311.
- Shi, X., Jin, F., Huang, Y., Du, X., Li, C., Wang, M., Shao, H., Jin, M., and Wang, J. 2012. Simultaneous determination of five plant growth

regulators in fruits by modified Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged, and Safe (QuEChERS) extraction and liquid chromatography-tandem mass spectrometry, *J. Agr. Food Chem.* 60: 60–65.

- SIAP. 2012. Cierre de la producción agrícola por cultivo. [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx) (consulta, noviembre 2013).
- Still J. R. and Pill, W. G. 2004. Growth and stress tolerance of tomato seedlings (*Lycopersicon esculentum* Mill) in response to seed treatment with paclobutrazol. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology.* 79: 197-203.
- Silva, C. M., Vieira, R. F., and Nicolella, G. 2003. Paclobutrazol effects on soil microorganisms. *Appl. Soil Ecol.* 22 (1):79–86.
- Silva, B. K. S., and Faria, J. M. J. 2011. Uso de paclobutrazol como estratégia para redução do porte e da brotação lateral de plantas de tomateiro. *Ciência e Agrotecnologia* 35: 539-546.
- Silva, B. K. S., Faria, J. M..J., Sabin. B.C.G., Seleguini, A., and Lemos, O. L. 2014. Utilização de paclobutrazol na produção de mudas de tomateiro. *Comunicata Scientiae* 5(2): 164-169.
- Singh, Z. 2000. Effect of (2RS, 3RS) paclobutrazol on tree vigour, flowering, fruit set and yield in mango. *Acta Hortic.* 525: 459–462.
- Tadao, A., Kin M. Y., Nagata N., Yamagishi K., Takatsuto S., Fujioka S., Murofushi N., Yamaguchi I., and Yoshida, S. 2000. Characterization of brassinazole, a triazole-type brassinosteroid biosynthesis inhibitor. *Plant Physiol.* 123: 93-99.
- Taton, M., Ullmann, P., Benveniste, P., and Rahier, A. 1988. Interaction of triazole fungicides and plant growth regulators with microsomal cytochrome P-450 dependent-obtusifoliol-1Cmethyl demethylase. *Pestic. Biochem. Physiol.* 30: 178-189.
- Te-chato, S., Hilae, A. and In-peuy, K. 2008. Effects of cytokinin types and concentrations on growth and development of cell suspension culture of oil palm. *Journal of Agricultural Technology.* 4: 157-163.

- Te-chato, S., Nujeen, P., and Muangson, S. 2009. Paclobutrazol enhance budbreak and flowering of Friederick's Dendrobium orchid IN vitro. J. of Agric. Techn. 5(1): 157-165.
- Tekalign, T and Hammes, P. S. 2005. Growth and biomass production in potato grown in the hot tropics as influenced by paclobutrazol. Plant Growth Regulation. 45: 37–46.
- Tongumpai, P., Chantakulchan K. and Subhadrabandhu, S.. 1997. Foliar application of paclobutrazol on flowering of mango. Acta Horticulturae 455(1): 175-179.
- Tsegaw, T., Hammes, S., and Robbertse, J. 2005. Paclobutrazol induced leaf, stem, and root anatomical modification in potato. Hortscience. 40(5): 1343–1346.
- Turgeon, A. J. 2002. Turfgrass Management, sixth ed. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Velázquez, A., T de J., Partida. R. L., Acosta, V. T., y Ayala, T. F. 2008. Producción de plantas de tomate y chile aplicando paclobutrazol al follaje. Universidad y Ciencia. 24: 21-28.
- Vidal, A. M., Gisbert, C., Talon, M., Primo, M. E., Lopez, D. I., y Garcia, M.JL. 2001. The ectopic overexpression of a citrus gibberellin 20-oxidase enhances the non-13- hydroxylation pathway of gibberellin biosynthesis and induces an extremely elongated phenotype in tobacco. Physiol Plant.112:251–60.
- Villegas, T. O., y Lozoya, S. H., 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.
- Wan, X. C., and Shen, B. K., 1998. Studies on new control measures for pine dieback and their mechanisms. J. Nanjing Forestry Univ. 22, 13–16.
- Watschke, T. L., Prinster, M. G., and Breuninger, J. M., 1992. Plant growth regulators and turfgrass management. In: Waddington, D.V., Carrow, R.N., Shearman, R.C. (Eds.), Turfgrass. Agronomy Monograph. 32: 557–588.

- Watson, G. W, and Himelick, E. B. 2004. Effects of soil pH, root density, and tree growth regulator treatments on pin oak chlorosis. *J Arboriculture* 30:172–7.
- Watson, G. W. 1996. Tree root system enhancement with paclobutrazol. *Journal of Arboriculture*. 22 (5): 211-217.
- Watson, G. W. 2000. Tree root system enhancement with paclobutrazol, pp. 131-135.
- Watson, G. W. 2001. Soil Applied Paclobutrazol Affects Root Growth, Shoot Growth, and Water Potential of American Elm Seedlings. *J. Environ. Hort.* 19(3):114–119.
- Whiley, A. 1993. Environment effects on phenology and physiology of mango. A review. *Acta Horticulturae*. 341: 168-176.
- Wiggins, T.E., and Baldwin, B.C. 1984. Binding of azole fungicides related to paclobutrazol to cytochrome P-450. *Pestic. Sci.* 15: 206-209
- Wilfret, G. J. 1981. Height retardation of poinsettia with ICI.PP-333. *Hortscience*. 16(3): 443
- Williams, D. R., Potts, B. M., and Smethurst, P. J. 2003. Promotion of flowering in *Eucalyptus nitens* by paclobutrazol was enhanced by nitrogen fertilizer. *Canadian Journal of Forest Research*. 33(1): 74-81.
- Yamaguchi, S. 2008. Gibberellin metabolism and its regulation. *Annu Rev Plant Biol.* 59:225–51.

## VIII. APÉNDICE

### EMPLEO DE COMPOSTA, MINERALES PRIMARIOS Y MICROORGANISMOS EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE TOMATE EN INVERNADERO

**INTRODUCCIÓN.** La producción de tomate en condiciones protegidas incrementa el rendimiento y la calidad de fruto (Rodríguez *et al.*, 2008). Los consumidores están cada vez más interesados en el consumo de alimentos inócuos, en especial los degustados en fresco, como las hortalizas, prefiriendo aquellos libres de agroquímicos y con alto valor nutricional, sin deterioro de la armonía con el medio ambiente (Márquez y Cano, 2005). Una opción para la generación de estos alimentos es utilizar composta, minerales primarios y microorganismos como prácticas amigables con el medio ambiente (De la Cruz *et al.*, 2010; Quero, 2010; Ferrera y Alarcón, 2001). **OBJETIVO.** Determinar los efectos que ocasionan la composta, minerales primarios amorfos (MPA) y consorcio microbiano (CM) en la fertilidad del suelo, así como en la nutrición, rendimiento y calidad de tomate en invernadero. **MATERIALES Y MÉTODOS.** Se estudiaron tres factores: A composta (15 y 25 t ha<sup>-1</sup>), B minerales primarios amorfos (6 y 3 t ha<sup>-1</sup>) y C consorcio microbiano (0 y 2 L ha<sup>-1</sup>) y como testigo la solución nutritiva Steiner. A los 110 ddt se determinó N-total, fósforo (P) y potasio (K) en suelo, CE en suelo, pH de suelo, contenido de Clorofila, producción total y análisis químicos de poscosecha pH de los frutos, acidez titulable, sólidos solubles totales. **RESULTADOS.** Con 25 t ha<sup>-1</sup> de composta el contenido de nitrógeno total fue 17.65 % menos que en el testigo, mientras que al aplicar 15 t ha<sup>-1</sup> se obtuvo 14.7 % más de N-total en relación al testigo. Al aplicar 25 ó 3 t ha<sup>-1</sup> de composta y MPA, respectivamente, con 0 L ha<sup>-1</sup> de CM se obtuvo el mismo porcentaje de fósforo con respecto al testigo. En cuanto al K, al aplicar 6 ó 3 t ha<sup>-1</sup> de MPA se obtuvo 6 y 16 % más de K que el testigo. La CE del testigo fue de 1.15 dS m<sup>-1</sup>, pero donde se aplicaron las respectivas 25 y 15 t ha<sup>-1</sup> de composta, la CE fue 47.82 y 30.43 % menos que en el testigo. Donde se aplicaron 6 ó 3 t ha<sup>-1</sup> de MPA el pH superó en 5.13 y 6.7 % al testigo, en el mismo orden. El contenido de clorofila (60.67) con la solución Steiner (testigo) fue el más alto, y en comparación a este promedio, al aplicar 0 ó 2 L

ha<sup>-1</sup> de CM ésta disminuyó 12.4 y 23.3 %. Con 25 ó 15 t ha<sup>-1</sup> de composta la producción disminuyó 15.38 y 27.94% en comparación a la obtenida con la solución Steiner. El pH de los frutos de las plantas tratadas con composta (25 t ha<sup>-1</sup>), MPA (6 t ha<sup>-1</sup>) y CM (0 L ha<sup>-1</sup>) superó al del testigo en 0.66 %; en tanto que la acidez titulable fue mayor con todos los tratamientos; a los ocho días los grados brix fueron inferiores a los frutos testigo. **CONCLUSIONES.** Se obtuvo una producción similar al tratamiento testigo, el consorcio microbiano influyó significativamente en el contenido de nitrógeno total, fósforo, potasio, conductividad eléctrica y potencial de hidrógeno. Las unidades SPAD fueron ligeramente inferiores en los tratamientos con fertilización orgánica. Los análisis de calidad química de frutos de tomate fueron semejantes al tratamiento testigo. **PALABRAS CLAVE.** Consorcio microbiano, solución Steiner, nutrición, rendimiento. **LITERATURA CITADA.** De la Cruz, L. E., Osorio, O. R., Martínez M. E., Lozano del Río A. J., Gómez, V. A., y Sánchez, H. R. 2010. Uso de compostas y vermicompostas para la producción de tomate orgánico en invernadero. *Interciencia*. 35(5):363-368. Ferrera, C.R y Alarcón, A., 2001. La microbiología del suelo en la agricultura sostenible, *Revista científica multidisciplinaria, CIENCIA ERGO SUM* 8:175-183. Márquez, H.C., Y Cano, R. P. 2005. Producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Actas Portuguesas de Horticultura* 5(1):219-224.

## RESPUESTA DEL PEPINO Y CALABAZA AL PACLOBUTRAZOL APLICADO SOBRE HOJAS COTILEDONALES

### Resumen

En esta investigación se determinó el efecto que ocasiona el paclobutrazol (PBZ) en el crecimiento de las plantas de pepino y calabaza, cuando éste se aplica sobre el follaje en dosis de  $150 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . El 21 de Octubre de 2013 se sembraron las dos especies en charolas de poliestireno con 200 cavidades rellenas con peat moss. Las plántulas se regaron y fertilizaron con  $1.0 \text{ g}$  de  $\text{N}\cdot\text{L}^{-1}$  de agua. Los tratamientos fueron  $150 \text{ mg}$  de  $\text{PBZ L}^{-1}$  de agua y el testigo, donde sólo se aplicó agua destilada. La solución con PBZ y el agua destilada sólo se aplicaron una vez con atomizador manual sobre las hojas cotiledonales, y a los 9, 13, 20 y 46 días después se evaluó el verdor, altura, área foliar, y peso de materia seca de raíz y parte aérea, respectivamente. En pepino y calabaza el PBZ incrementó el verdor en 26% y 15% respectivamente, en relación al testigo. En ambas especies fue menor la altura de plantas tratadas con PBZ, el área foliar del pepino disminuyó en 40% en relación al testigo, en cambio el área foliar de la plántulas testigos de calabaza resultó estadísticamente igual a las tratadas con PBZ. En raíz, el PBZ fue eficaz para inducir mayor acumulación de materia seca en ambas especies, mientras que en materia seca de la parte aérea no hubo diferencias estadísticas; sin embargo, en pepino los valores porcentuales fueron 15% superiores y en calabaza inferiores en 5%.

**Palabras clave:** *Reguladores de crecimiento, cucurbitáceas, altura.*

### Abstract

In this investigation it was determined paclobutrazol (PBZ) effects over the growth of cucumber and pumpkin, when it is applied on foliage at  $150 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . On October 21st 2013, both species were planted in peat-filled polystyrene trays with 200 cavities. The seedlings were watered as necessary and fertilized with  $1.0 \text{ g}$  of  $\text{N}\cdot\text{L}^{-1}$  of water. Treatments were PBZ  $150 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  of water and a control, where only distilled water was applied. The PBZ solution and distilled water were applied only once with hand sprayer on cotyledons, and at 9, 13, 20 and

46 days after the greenness, height, leaf area and dry matter of root and shoot were assessed respectively. In cucumber and pumpkin the PBZ increased the greenness in 26% and 15% relative to the control. In both species treated with 150 mg·L<sup>-1</sup> of water, the height was less than normal. Leaf area of cucumber treated with PBZ decreased by 40% compared to the control, whereas the leaf area of the treated pumpkin seedlings was statistically equal to those treated with PBZ. In the root, PBZ was effective to induce greater dry matter accumulation in both species, while in dry matter of the shoot there were no statistical differences; however, the percentage values in cucumber were 15% higher and 5% lower in pumpkin.

**Index words:** *Growth regulators, cucurbits, height.*

### Introducción

El pepino (*Cucumis sativus* L.) y calabaza (*Cucurbita pepo* L.) son especies que se cultivan en Sinaloa. Durante el ciclo agrícola otoño-invierno 2012 se sembraron 3,799.41 y 3,839.39 ha respectivamente, con un rendimiento de 74.51 y 20.88 t·ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2012). Dichos cultivos son de gran importancia económica, pues tienen gran demanda en el mercado local e internacional, ya sea fresco o procesado (Arias, 2007). Buscando alternativas para mejorar crecimiento y desarrollo de las plantas, en las dos décadas pasadas se descubrió que el paclobrutazol (PBZ) incrementa el crecimiento de raíces (Watson, 1996) y, según Partida *et al.* (2007), también incrementa el de la parte aérea de plántulas de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) y berenjena (*Solanum melongena* L.) o aumenta la relación de raíces por brotes en plantas de *Prunus persica* L. (Liyembani y Taylor, 1989).

En plántulas de tomate cv. 'Viradoro' donde el PBZ ocasionó disminución en altura (Nascimento *et al.*, 2003), de tal manera que siendo conocido para reducir el crecimiento de plantas leñosas, los horticultores lo han usado con éxito para aquel propósito (Fletcher *et al.*, 2010). Sin embargo, este producto tiene restricciones para su uso en frutales en los Estados Unidos por su alta persistencia en el suelo cuando es aplicado a éste, por lo que puede provocar contaminación de mantos freáticos y riesgo potencial de translocación en lo

frutos, pero dicha residualidad depende de que hagan aplicaciones consecutivas a través del tiempo (Osuna *et al.*, 2001). Lo anterior puede limitar su utilidad como retardante de crecimiento en algunas situaciones (Roberts & Hooley 1988).

En pepino, el PBZ ocasiona aumento en el número de raíces, longitud y diámetro de las mismas, cuando las semillas son remojadas en solución con 40 mg de PBZ L<sup>-1</sup> de agua, pero la longitud del hipocótilo se reduce, además, las plantas que resultan de semillas tratadas con PBZ y refrigeración durante 4 días a 5 °C tienen mayor concentración y fluorescencia de clorofila, por lo que son más eficientes fotosintéticamente en relación con las plantas testigo (Ali, 2009). Las consecuencias morfológicas directas sobre la planta se notan en la disminución del crecimiento y en la mayor producción de flores en algunas especies (Villegas y Lozoya, 1991).

El PBZ también produce efectos en la parte aérea de plántulas de tomate y chile, de tal forma que cuando se aplica sobre plántulas de tomate con dos o cuatro hojas verdaderas en dosis de 100, 150 ó 200 mg·L<sup>-1</sup> de agua, la altura de la planta se retarda; mientras que cuando se aplica en dosis de 250, 300 ó 350 mg·L<sup>-1</sup>, la altura se incrementa. En chile retarda el crecimiento de los tipos bell y Anaheim con 200 mg·L<sup>-1</sup>, en jalapeño con 100, en serrano con 100 ó 200, y en caribe con 200 ó 250 (Velázquez *et al.*, 2008).

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. Al respecto, Clouse y Sasse (1998) mencionan que mediante dos aplicaciones foliares de 50 mg·L<sup>-1</sup> de agua controlaron el alargamiento de tallo y produjeron plantas de menor altura (37 cm) en relación con las plantas no tratadas (50 cm).

El PBZ es un regulador de crecimiento vegetal que tiene fórmula química C<sub>15</sub>H<sub>20</sub>ClN<sub>3</sub>O, peso molecular de 293.79, pH de 6-10 y nombre químico (2RS, 3RS)-1-(4-chlorophenyl)-4,4-dimethyl-2-(1H-1,2,4-triazol-1-yl) pentan-3-ol, y que 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 y Martín 1988).

Con esta investigación se determinó el efecto que el PBZ ocasiona en el verdor, altura, área foliar y peso seco de raíz y de la parte aérea de las plántulas de pepino y calabaza, cuando se aplica sobre las hojas cotiledonales en dosis de  $150 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de agua.

### **Materiales y métodos**

El presente estudio se realizó en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, ubicado en el km 17.5 carretera Culiacán-Eldorado, durante el ciclo agrícola otoño-invierno 2013-2014. Se utilizaron pepino tipo slicer cv Alcázar y calabaza cv Adelita. La siembra de ambas especies se hizo el 21 de octubre de 2013, en charolas de poliestireno con 200 cavidades rellenas con peat moss. Las plántulas se regaron con la frecuencia necesaria y se fertilizaron con  $1.0 \text{ g}$  de  $\text{N}\cdot\text{L}^{-1}$  de agua, utilizando urea como fuente de nitrógeno.

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar. Los tratamientos fueron la dosis de  $150 \text{ mg}$  de  $\text{PBZ L}^{-1}$  de agua y el testigo. Las dosis se aplicaron sólo una vez con un atomizador manual sobre las hojas cotiledonales a los nueve días después de la siembra (dds). En cada unidad experimental, la solución se asperjó con el mismo número de disparos (25) del atomizador y se procuró que cada disparo se hiciera casi con la misma fuerza, hasta que se formaran gotas semejantes al rocío sobre la superficie de las hojas, sin que las gotas escurrieran. En las plantas testigo sólo se roció agua destilada con el mismo procedimiento.

A los nueve días después de la aplicación del PBZ en pepino y calabaza, se evaluó el verdor con un SPAD 502 en una muestra de 20 plantas seleccionadas al azar, en la parte media de una hoja de cada planta; la altura de las plantas de pepino y calabaza se midió a los 13 d después de la aplicación de PBZ, desde la base del tallo hasta la yema apical de la misma. El área foliar se evaluó mediante el largo y ancho de la primera hoja verdadera a los 20 d después de la aplicación de PBZ. El peso de materia seca de raíz y parte aérea de las plántulas de pepino y calabaza se obtuvo a los 46 d después de la aplicación de PBZ, mediante el secado en estufa durante 72 h hasta peso constante, y se determinó con balanza de precisión.

Los análisis estadísticos se analizaron con el paquete estadístico MINITAB 16, incluyendo la comparación de medias con la prueba de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ).

### Resultados

En el verdor de las hojas del pepino se detectaron diferencias significativas, de tal manera que con la dosis de  $150 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de agua el incremento fue del 26% con respecto al testigo (Cuadro 1), mientras que la altura disminuyó en 24% y el área foliar 40%, comparados con los promedios del testigo. En materia seca de la raíz y parte aérea, el PBZ fue eficaz para inducir mayor acumulación, 21.9% más en raíz, y 12.8% más en la parte aérea.

**Cuadro 1. Verdor, altura, área foliar y materia seca de raíz y parte aérea de plántulas de pepino.**

| Dosis                              | Verdor<br>(unidades<br>Spad) | Altura<br>(cm) | Área foliar<br>( $\text{cm}^2$ ) | Materia<br>seca de<br>raíz (g) | Materia<br>seca de<br>parte aérea<br>(g) |
|------------------------------------|------------------------------|----------------|----------------------------------|--------------------------------|--|
| $150 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | 41.755 a                     | 8.93 b         | 9.71 b                           | 0.1250 a                       | 0.6400 a                                 |
| 0 (testigo)                        | 33.080 b                     | 11.75 a        | 16.20 a                          | 0.1025 b                       | 0.5675 b                                 |

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

En calabaza (Cuadro 2), el verdor se incrementó 15.1%, la altura disminuyó 34.4%, pero el área foliar, así como el peso seco de la raíz y de la parte aérea fueron estadísticamente iguales, con respecto a los promedios que se obtuvieron en el testigo. Sin embargo, en materia seca de raíz hubo un incremento porcentual de 56.6.

**Cuadro 2. Verdor, altura, área foliar y materia seca de raíz y parte aérea de plántulas de calabaza.**

| Dosis | Verdor<br>(unidades<br>Spad) | Altura<br>(cm) | Área foliar<br>( $\text{cm}^2$ ) | Materia seca<br>de<br>raíz (g) | Materia seca<br>de parte<br>aérea (g) |
|-------|------------------------------|----------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
|-------|------------------------------|----------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|

|                           |          |           |         |         |         |
|---------------------------|----------|-----------|---------|---------|---------|
| 150<br>mg·L <sup>-1</sup> | 49.445 a | 9.85<br>a | 16.62 a | 0.130 a | 1.150 a |
| 0<br>(testigo)            | 42.965 b | 15.00 b   | 16.70 a | 0.083 a | 1.215 a |

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

### Discusión

El incremento del verdor en las dos especies utilizadas en esta investigación, tiene relación con lo que Berova y Zlatev (2000) reportaron en cuanto a que con el PBZ se induce mejora en la actividad fotosintética de plántulas de tomate, ya que al incrementar el verdor (clorofila) en las plántulas, el proceso fotosintético también se incrementó. También tienen relación con los de Watson (1996), ya que este autor refiere que el PBZ incrementa el crecimiento de raíces, y con esta investigación eso fue lo que se observó en las dos especies; asimismo, con los de Berova y Zlatev (2000), ya que ellos observaron que con 1.0 mg·L<sup>-1</sup> de agua aplicado al suelo, o con 25 mg·L<sup>-1</sup> en aplicación foliar, el PBZ aumenta el desarrollo de raíces en plántulas de tomate.

En altura de plántulas y peso seco de raíces, los resultados que se obtuvieron también tienen relación con los de Partida *et al.* (2007), quienes encontraron que con dosis de 100, 150, 200, 250, 300, 350 mg·L<sup>-1</sup>, el PBZ retardó el crecimiento en la altura, pero incrementó el peso seco de raíces de las plántulas de pimiento. Asimismo, con los resultados publicados por Giovinazzo *et al.* (2001), ya que estos autores observaron que el PBZ redujo hasta en 45% el tamaño de plántulas de tomate, y con los de Velázquez *et al.* (2008), quienes encontraron que en plantas de tomate cv. 'Río Grande', el PBZ retarda el crecimiento cuando se aplica foliarmente en dosis de 100, 150 ó 200 mg·L<sup>-1</sup> de agua, en plantas de dos a cuatro hojas verdaderas.

### Conclusiones

La dosis de 150 mg de PBZ L<sup>-1</sup> de agua, aplicado sobre hojas cotiledonales, fue eficaz para incrementar el verdor de las plántulas de pepino y calabaza, así como para incrementar la materia seca de raíz y parte aérea del pepino, ya que en calabaza sólo ocasionó mayor cantidad de materia seca de raíz, de tal manera que dicha dosis de PBZ puede ser utilizada para aplicarse en la etapa de hojas cotiledonales, para producir plántulas más compactas.

### Literatura citada

- Ali, A., R. 2009. Improving germination performance and chilling tolerance in cucumber seedlings with paclobutrazol. *Internacional Journal of Vegetable Science*, 15 (2): 173–184.
- Arias, S. 2007. Manual de producción, producción de pepino. Disponible en: [www.innovacion.gob](http://www.innovacion.gob). (Consulta, junio de 2014).
- Berova, M. y Zlatev, Z. 2000. Physiological response and yield of paclobutrazol treated tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Plant Growth Reg.* 30:117-123.
- Clouse, S. and Sasse, J. M. 1998. Essential Regulators of Plant Growth and Development. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 1998. 49:427–51.
- Early, J., D y Martín, G., C. 1988. Translocation and breakdown of <sup>14</sup>C-labelled paclobutrazol in Nemaguard peach seedlings. *HortScience* 23(1): 196-200.
- Fletcher, R., A. Gilley, A. Sankhla, N. and Davis, T., D. 2010. Triazoles as Plant Growth Regulators and Stress Protectants, *Hort. Rev.* 24: 55-138.
- Giovinazzo, R. Souza, M. V y Hartz, T., K. 2001. Paclobutrazol responses with processing tomato in France. *Acta Hort.* 542:355-358.
- Liyembani y Taylor, 1989. Growth and development of young peach trees as influenced by foliar sprays of paclobutrazol or XE-1019. *Hortscience*. 24:65-68.
- Mariscal, A., E. Lozoya, S., H y Colinas, L., M. T. 1992. Efecto del paclobutrazol (PP333, bonzo) sobre el crecimiento y floración de hortensia (*Hydrangea macrophylla* Thunb). *Chapingo S Hort.* 78: 11-13.
- Nascimento, M., W. Salvagio, R y Silva, C., J. 2003. Condicionamiento químico do crescimento de mudas de tomate. *Hort. Brasileira* 21(2): 1-3.
- Osuna, G., J. A. Baez, S., R. Medina, U., V. M y Chávez, C., X. 2001. Residualidad de paclobutrazol en frutos de mango (*Mangifera indica* L.) cultivar Tommy Taquín. *Rev. Chapingo S. Hort.* 7(2): 275-282.
- Partida, R., L. Velázquez, A., T. de J. Díaz, V., T. Ayala, T., F y Acosta, V., B. 2007. Crecimiento de raíz y parte aérea de plántulas de

- pimiento morrón y berenjena tratadas con paclobutrazol. *Rev. Fitot. Mexicana* 30(10):145-150.
- Roberts, J., A. Hooley, R. 1988. *Plant Growth Regulators*. Chapman and Hall, New York. 190 pp.
- SIAP. 2012. Cierre de la producción agrícola por cultivo. [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx) (consulta, noviembre 2013).
- Velázquez, A., T de J. Partida. R., Acosta, V., T y Ayala, T., F. 2008. Producción de plantas de tomate y chile aplicando paclobutrazol al follaje. *Universidad y Ciencia*, vol. 24, núm. 1, abril, 2008, pp. 21-28.
- Villegas, T., O y Lozoya, S., H. 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.
- Watson, G., W. 1996. Tree root system enhancement with paclobutrazol. *Journal of Arboriculture* 22 (5): 211-217.