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

Universidad Autonoma
de Sinaloa
FACULTAD DE AGRONOMIA
Coordinación de Posgrado
Culiacán, Sinaloa, México.

TESIS

CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE GRANO DEL SORGO EN RESPUESTA AL PACLOBUTRAZOL APLICADO EN SEMILLA O FOLLAJE

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

PRESENTA
FELIPE MENCHACA CEJA

DIRECTORA DE TESIS
DRA. TERESA DE JESÚS VELÁZQUEZ ALCARAZ

CO-DIRECTOR DE TESIS
DR. JUAN FRANCISCO PONCE MEDINA

CULIACÁN, SINALOA, DICIEMBRE DE 2011

ESTA TESIS FUE REALIZADA POR **FELIPE MENCHACA CEJA** BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA, HA SIDO APROBADA POR EL MISMO Y ACEPTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

Universidad Autónoma de Sinaloa
FACULTAD DE AGRONOMIA
Coordinación de Posgrado
Culiacán, Sinaloa, México.

CONSEJO PARTICULAR

DIRECTORA _____

DRA. TERESA DE JESÚS VELÁZQUEZ ALCARAZ

CO-DIRECTOR _____

DR. JUAN FRANCISCO PONCE MEDINA

ASESOR _____

DR. LEOPOLDO PARTIDA RUVALCABA

ASESOR _____

DR. TOMÁS DÍAZ VALDÉS

ASESOR _____

M.C. FELIPE AYALA TAFOYA

CULIACÁN, SINALOA, DICIEMBRE DE 2011

Universidad Autónoma de Sinaloa
FACULTAD DE AGRONOMIA
Coordinación de Posgrado
Culiacán, Sinaloa, México.

DEDICATORIAS

A MIS PADRES

Margarita Ceja Orozco y Javier Velazco Moya quienes me han dado su apoyo incondicional en los mejores y peores momentos de mi vida, Quienes sin escatimar esfuerzo alguno, han sacrificado gran parte de su vida para formarme y educarme. A quienes la ilusión de su vida ha sido convertirme en persona de provecho. A quienes nunca podré pagar todos sus desvelos ni aún con las riquezas más grandes del mundo. Sabiendo que jamás existirá una forma de agradecer en esta vida de lucha y superación constante, deseo expresarles que mis ideales, esfuerzos y logros han sido también suyos, y constituye el legado más grande que pudiera recibir con cariño, admiración y respeto. Por esto y más… ¡Gracias!

A MIS HERMANOS

Mario Menchaca Ceja y Karla Mariela Menchaca Ceja por apoyarme con sus palabras de aliento a seguir culminando un logro más en mi preparación profesional.

A MIS PROFESORES

Dra. Teresa de Jesús Velázquez Alcaraz por haberme aceptado como su tesista y darme todo el apoyo, su tiempo, paciencia y dedicación para culminar los trabajos logrados.

Dr. Leopoldo Partida Ruvalcaba por aceptarme en la maestría, darme las herramientas necesarias para seguir en la vida, prepararme como persona y en el ámbito profesional.

Dr. Juan Francisco Ponce Medina por darme su apoyo incondicional en Mexicali y darme sus conocimientos fundamentales en mi preparación.

Dr. Manuel Cruz Villegas por depositarme la confianza que marcó la perseverancia en Mexicali.

M.C. Felipe Ayala Tafoya por su apoyo profesional, moral y material.

M.C. Agustín Zarate Márquez por brindarme su amistad y su apoyo incondicional en mi estancia en Mexicali.

A mis amigos por ser piezas claves en los dos años de maestría y por todo lo que aconteció en los dos años.

Al M.C. José Sinhué Acosta Quintero, por todos los apoyos que me proporcionó durante mis estudios de la Maestría en Ciencias Agropecuarias.

Universidad Autónoma
de Sinaloa
FACULTAD DE AGRONOMIA
Coordinación de Posgrado
Culiacán, Sinaloa, México.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Sinaloa, por brindarme la oportunidad de realizar estudios de posgrado en uno de sus programas reconocidos por el CONACYT Asimismo, por el apoyo que me proporcionó con beca a través de la Dirección General de Investigación y Posgrado, hasta antes de recibir la beca CONACYT.

Al Colegio de Ciencias Agropecuarias, por darme la oportunidad de estudiar la Maestría en Ciencias Agropecuarias, incluida en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.

Al CONACYT, por el apoyo que me proporcionó durante el periodo de estudios que comprende el programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias que oferta el Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa.

A la Facultad de Agronomía y la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, por facilitarme los medios para estudiar la Maestría en Ciencias Agropecuarias en sus aulas, bibliotecas, laboratorios y campos experimentales.

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	i
RESUMEN	ii
ABSTRACT	iii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. PROBLEMA	4
III. HIPÓTESIS	4
IV. OBJETIVO GENERAL	4
4.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
V. REVISIÓN DE LITERATURA	6
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	14
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
7.1. En condiciones de charolas de poliestireno en invernadero	18
7.2. En condiciones de campo	23
VIII. CONCLUSIONES	27
IX. LITERATURA CITADA	28
APÉNDICE	36

ÍNDICE DE CUADROS

Página

Cuadro 1. Altura de plántulas obtenidas a partir de semillas embebidas en solución con PBZ y de plántulas tratadas con PBZ en la etapa de siete hojas verdaderas ---------- 19

Cuadro 2. Longitud y anchura de la tercera hoja y de hoja bandera y peso seco de raíces de plantas tratadas con PBZ en la etapa V_7 en condiciones de macetas en invernadero ---------- 22

Cuadro 3. Verdor foliar, altura, diámetro del tallo e índice de cosecha en campo, después de la aplicación del PBZ en las etapas de ocho, nueve y diez hojas verdaderas ---------- 24

Cuadro 4. Promedios de longitud de panojas, peso de grano de 25 panojas, peso y volumen de 1000 granos y rendimiento de grano ha^{-1} ---------- 26

RESUMEN

Esta investigación se hizo para conocer el efecto que produce el paclobutrazol (PBZ) en el verdor, crecimiento y rendimiento del sorgo (*Sorghum vulgare* L.). En campo se aplicaron dosis de 0 (testigo), 150, 300 y 450 mg de PBZ L^{-1} de agua sobre el follaje del cultivar 'DK 74', la primera se aplicó en una sola ocasión con bomba manual, mientras que la segunda y la tercera se completaron con las respectivas dos o tres aplicaciones de 150 mg, con el mismo equipo. Se fertilizó con 250 kg de N ha^{-1} momentos antes del primer riego de auxilio. En invernadero se aplicaron dosis de 50, 100,150, 200, 250, 300, 350 ó 400 mg de PBZ L^{-1} de agua, y sólo una vez se fertilizó con 1.5 g de N L^{-1} de agua. En ambas condiciones el diseño experimental fue bloques completos al azar, con cinco repeticiones en campo y cuatro en invernadero. La longitud del coleóptilo disminuyó de 33.4% hasta 47.6% con 150 ó 200, 250 y 350 mg de PBZ L^{-1} de agua; después la altura se incrementó con el 75% de las dosis de PBZ. En plantas tratadas en V_7, la altura disminuyó 36.8% con 100 mg de PBZ; en macetas, la longitud y anchura de la tercera hoja y de la hoja bandera disminuyeron en todos los casos con PBZ; el peso seco de raíces se incrementó 42.6% con 450 mg de PBZ. En campo, verdor se incrementó hasta 18.3% con 450 mg de PBZ; la altura de plantas, el diámetro del tallo y el volumen de 1000 granos no disminuyeron; las panojas fueron 2.7% más grandes con 150 mg y 1.4% con 450; el peso de granos de 25 panojas y el rendimiento de grano se incrementaron 10.5% con 450 mg de PBZ.

Palabras clave: *Regulador de crecimiento, altura de plantas, variedad 'DK 74', Sorghum vulgare, longitud de panojas.*

ABSTRACT

This research was done to know the effect produced by paclobutrazol (PBZ) in the greenness, growth and yield of sorghum (*Sorghum vulgare* L.). Doses were applied field of 0 (control), 150, 300 and 450 mg of PBZ L^{-1} of water on the foliage of the cultivar 'DK 74', the first was applied on one occasion with hand pump, while the second and the third was completed with the respective two or three applications of 150 mg, with the same team. Was fertilized with 250 kg N ha^{-1} moments before the first irrigation for help. In greenhouse were applied doses of 50, 100.150, 200, 250, 300, 350 or 400 mg of PBZ L^{-1} of water, and only once was fertilized with 1.3 g of N L^{-1} of water. In both conditions the experimental design was a randomized complete block with five replicates in the field and four in the greenhouse. Coleoptile length decreased from 33.4% to 47.6% with 150 or 200, 250 and 350 mg of PBZ L^{-1} of water, after the height increased with 75% of the dose of PBZ. In treated plants in V_7 in pots the height decreased 36.8% with 100 mg of PBZ, the length and width of the third leaf and flag leaf decreased in all cases with PBZ, the root dry weight increased 42.6 % with 450 mg of PBZ. In the field, greenness increased to 18.3% with 450 mg of PBZ, the plant height, stem diameter and volume of 1000 grains not diminished, the panicles were 2.7% greater with 150 mg and 1.4% with 450, the grain weight of 25 panicles and grain yield increased 10.5% with 450 mg of PBZ.

Index words: *Growth regulator, plants height, 'variety DK 74', Sorghum vulgare, panicles length.*

I. INTRODUCCIÓN

El Departamento de Agricultura de Estados Unidos estimó, para el ciclo agrícola 2009-2010, una producción mundial de sorgo de 62,43 millones de t, de las cuales 6,4 millones correspondieron a la producción de México. Sin embargo, el mismo departamento ha estimado que la producción será de 62,76 millones de t para el ciclo 2011-2012, con 2,5 millones de t menos con respecto a la producción en el ciclo agrícola 2010-2011; no obstante, México aportará 6,8 millones de t (USDA, 2011).

El paclobutrazol (PBZ) tiene 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 (Gopi *et al.*, 2009); en la palma de aceite (*Elaeis quineensis* Jacq.) incrementa la superficie epicuticular de las raíces, el color verde de las hojas y el contenido total de clorofila (Nizam y Te-chato, 2009).

Villegas y Lozoya (1991) encontraron que retardantes de crecimiento, como el PBZ, 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; 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.

El PBZ ha mostrado actividad para controlar el crecimiento de plantas (Sterrett, 1985), y se ha establecido que es efectivo en la reducción de la elongación de tallo en muchas especies (Wang y Blessington, 1990), de tal manera que Mariscal *et al.*

(1992) encontraron que el PBZ retardó el crecimiento del tallo en hortensia con dosis de 50 mL L^{-1} aplicados al follaje en el cultivar Rose Supreme; asimismo, que mediante dos aplicaciones foliares de 50 mg de PBZ L^{-1} de agua controlaron el alargamiento de tallo, produciendo plantas de menor altura (37 cm), mientras que las plantas testigo midieron 50 cm.

Partida *et al.* (2007) descubrieron que el PBZ incrementó la biomasa de raíz y de la parte aérea en pimiento morrón y berenjena, con relación al testigo; 150 mg L^{-1} fue la dosis más adecuada en pimiento morrón al incrementar en 1.1 veces la longitud de raíz, en 3.7 veces la materia fresca y en 13 veces la materia seca de las mismas; también incrementó en 1.5 y 6.7 veces la materia fresca y seca de la parte aérea, respectivamente. En raíces de berenjena incrementó en 1.3 veces la materia fresca y 71 % la materia seca de las mismas; en 81% la materia fresca y 89% la materia seca de la parte aérea. Asimismo, de acuerdo con Velázquez *et al.* (2008), 200 mg de PBZ L^{-1} de agua fueron suficientes para retardar el crecimiento en chile bell y anaheim, con 100 se retardó en jalapeño, con 100 ó 200 en serrano, y con 200 ó 250 en caribe.

Con frecuencia el PBZ es usado en plantas ornamentales para controlar su crecimiento y compactarlas, de tal manera que cuando se aplica al suelo con plántulas de *Nerium oleander* L. reduce significativamente todos los parámetros de crecimiento, ocasionando plantas más compactas y de buen valor comercial; sin embargo, con este procedimiento el PBZ suele ser persistente en el suelo (Ochoa *et al.*, 2009).

Mediante dosis de 12 y 24 mL L^{-1} de PBZ, combinado con 75 y 150 kg de N ha^{-1}, respectivamente, se disminuye la altura y madurez de las plantas de maíz, pero también se incrementa el grosor del tallo y el rendimiento de materia seca; asimismo, el contenido de las clorofilas a y b en relación con las plantas testigo o aquéllas que no fueron tratadas con paclobutrazol (Iremiren *et al.*, 2002).

II. PROBLEMA

Actualmente se desconoce el efecto que produce el PBZ en el verdor foliar, crecimiento y rendimiento de grano del sorgo, aplicado en diferentes dosis L^{-1} de agua y en distintas etapas fenológicas, en el periodo otoño-invierno.

III. HIPÓTESIS

El paclobutrazol hace que las plantas de sorgo incrementen el verdor de hojas, peso seco de raíces y de la parte aérea, retarde la altura, si de él se aplican 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 ó 400 mg L^{-1} de agua en semillas o en las etapas de tres, cuatro y siete hojas verdaderas, pero no retarda la altura con dosis de 150, 300 ó 450 mg L^{-1} de agua, y mejora el rendimiento de grano si se aplica en plantas que tienen ocho hojas verdaderas o más.

IV. OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto que produce el PBZ en el verdor del follaje y crecimiento del sorgo, cuando la sustancia se aplica en semillas imbibidas en soluciones con 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 ó 400 mg L^{-1} de agua, o cuando éstas se aplican en plantas con tres, cuatro y siete hojas verdaderas, cultivadas en charolas de poliestireno con sustrato peat moss o en macetas; asimismo, en el verdor, crecimiento y rendimiento de grano cuando se asperja con dosis de 150, 300 ó 450 mg L^{-1} sobre el follaje de plantas con ocho o más hojas verdaderas en condiciones de campo.

4.1. Objetivos específicos

a) Determinar la respuesta que induce el PBZ en la altura de las plantas de sorgo a través de la dosis de 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 ó 400 mg L^{-1} de agua en plantas provenientes de semillas embebidas en solución de PBZ y cultivadas en charolas de poliestireno.

b) Determinar el efecto que ocasiona el PBZ en el crecimiento del sorgo a través de las dosis de 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 ó 400 mg L^{-1} de agua en plantas con siete hojas verdaderas (V_7) cultivadas en charolas de poliestireno con peat moss y en macetas.

c) Conocer el efecto que produce el PBZ en el verdor foliar, crecimiento y rendimiento de grano con las dosis de 150, 300 ó 450 mg L^{-1} de agua, aplicadas en plantas de ocho o más hojas verdaderas en condiciones de campo.

d) Identificar la etapa fenológica del sorgo en la que se pueda aplicar PBZ en diferentes dosis sin que retarde el crecimiento.

e) Conocer las dosis de PBZ que mejor efecto ocasionen en el crecimiento y rendimiento de grano del sorgo.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

Los retardantes o inhibidores de crecimiento vegetal que existen en el mercado, son compuestos orgánicos sintéticos que retrasan la división y alargamiento celular en tejidos del brote en activo crecimiento, sin ocasionar malformaciones en los tallos o en las hojas (Rojas y Rovalo, 1985). Desempeñan un papel importante, ya que pueden controlar una amplia variedad de procesos, como el control del crecimiento, desarrollo vegetal y la inhibición de hormonas (giberelinas) esenciales para el crecimiento y elongación de tallos (Nitsch, 1957). De tal manera que al disminuir la división y elongación celular, que ocurren en los ápices y meristemos subapicales, suprimen el crecimiento del tallo porque acortan los entrenudos del mismo, (Weaver, 1984).

Por lo anterior, se considera que el efecto que ocasionan los retardantes de crecimiento es frecuentemente el opuesto al de las giberelinas, ya que mientras éstas inducen el crecimiento de los entrenudos, los retardantes provocan un acortamiento de los mismos (Weaver, 1984).

Dichos inhibidores de crecimiento actúan en la oxidación del kaureno a ácido kaurenoico para la producción de giberelinas, de esta forma reducen la tasa de división y expansión celular, sin el riesgo de causar toxicidad; las consecuencias morfológicas directas sobre la planta se muestran como una reducción del crecimiento, pero también se manifiesta una estimulación en la producción de flores en algunas especies (Villegas y Lozoya, 1991). Por lo que se han venido aplicando

para el cultivo de plantas e incrementar floración, fijación de frutos, tuberización, y la resistencia al frío, sequía y sales (Wareing y Phillips, 1981).

El paclobutrazol (PBZ) es un retardante del crecimiento vegetal que se ubica en el grupo de triazoles (Krishnamoorthy, 1981), que presenta mecanismos físicos y bioquímicos que inhiben la biosíntesis de giberelinas y reducen la división celular, toda vez que puede ser absorbido pasivamente a través de las hojas, tallos y raíces, y translocarse por el xilema hasta los puntos de crecimiento, donde inhibe la síntesis de giberelinas y, en cosecuencia, impide su acción en los meristemos subapicales (Early y Martín, 1988). Sin embargo, incrementa el contenido de citocininas y ácido abscísico e incrementa considerablemente el total de fenoles en la especie *Ocimum sanctum* (Gopi *et al.*, 2009).

El PBZ es un derivado de la pirimidina que ha mostrado actividad para controlar el crecimiento en un amplio rango de plantas (Shanks, 1980; McDaniel, 1983; Sterrett, 1985; McDaniel, 1986); dicho biorregulador de plantas ha sido un prometedor retardante del crecimiento para uso en frutales (Snir,1988), y se ha establecido que es efectivo en la reducción de la elongación de tallo en muchas especies (Mansour y Poole, 1987; Barrett y Nell, 1989; Wang y Blessington, 1990).

Los triazoles, como el PBZ, son extremadamente activos y efectivos para retardar la altura de 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 y Bartuska, 1982).

El PBZ, aplicado en el suelo hasta humedecerlo, es más efectivo para retardar la altura de la azucena Easter, que la aplicación foliar (Giafagna y Wulster, 1986); sin embargo, la aplicación en el suelo a través de tabletas o cápsulas con dicho retardante, colocadas en hoyos hechos en la parte central de cada maceta, es menos efectivo para controlar la altura de crisantemo, que cuando se humedece el suelo con solución de PBZ, (Sanderson *et al.*, 1988).

Según Barrett y Bartuska (1982), el efecto que produce el PBZ en la elongación del tallo depende del lugar de aplicación, aunque algunos estudios han indicado que es translocado por el xilema una vez que es absorbido por las raíces, como sucede con uniconazole que es su análogo químico (Wang *et al.*, 1986 y Sterrett, 1988); y cuando se aplica al follaje, no es translocado rápidamente al ápice del brote para pronto limitar el crecimiento, como lo hace cuando se aplica directamente a los tallos (Barrett y Bartuska, 1982).

También Dalziel y Lawrence (1984) y Tadao *et al.* (2000), han reportado que el PBZ es un activo inhibidor de la biosíntesis del ácido giberélico; en tanto que Bailey *et al.* (1986); Goultson y Shearing (1985); Wilkinson y Richards (1988) también lo han reportado como una sustancia que retarda la elongación del tallo, y que en ocasiones promueve la floración en plantas ornamentales leñosas.

En la 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^{-1} de peso fresco (Nizam y Te-chato, 2009). Mientras que en plantas de Nochebuena, a través de aplicaciones de dirigidas al suelo y follaje, reduce la altura

de plantas y las hace más compactas con un follaje verde oscuro (Goulston y Shearing, 1985).

En el cultivar Rose Supreme de Hortenzia (*Hidrongea macrophylla* Thumb), el PBZ retardó el crecimiento del tallo con dosis de 50 mL L^{-1} de agua aplicados sobre el follaje; asimismo, mediante dos aplicaciones foliares de 50 mg de PBZ L^{-1} de agua se controló el alargamiento de tallo, y se produjeron plantas de menor altura con 37 cm, en comparación con los 50 cm que tuvieron las plantas no tratadas con PBZ (Mariscal *et al.*, 1992).

En plantas de Nochebuena, el PBZ inhibió el crecimiento sin detrimento en el aspecto o diferenciación floral, cuando se aplicaron de 2.0 y 4.0 mg L^{-1} de agua, así como 120 y 160 mg L^{-1} de agua, en aplicaciones al suelo y follaje, respectivamente (Villegas y Lozoya, 1991).

La combinación de PBZ con KNO_3 o el PBZ solo, indujeron floración entre 70 y 90%, y la adelantaron 26 y 37 días, respectivamente, con respecto a los árboles testigo del tipo 'Manila'; mientras que estos últimos sólo florecieron en 50%, en el ciclo 2008-2009. En el periodo 2009-2010 el inicio de floración de los mismos árboles tratados con PBZ + KNO_3 fue 23 días antes que los no tratados, y 15 días antes en los tratados sólo con PBZ; estos últimos presentaron una floración de 98%; en tanto que los no tratados sólo tuvieron 64.4% de floración. Estos resultados permitieron demostrar que el PBZ, aún sin la adición de KNO_3, ocasionó incremento en la floración y cosecha, pese a que no se presentaron condiciones ambientales inductivas de la floración, por lo que es posible deducir que en mango 'Manila' se

puede prescindir del KNO_3 para incrementar en más del 100% el rendimiento (Pérez *et al.*, 2011).

En papa para semilla, las dosis de 100, 200 ó 250 mg de PBZ L^{-1} de agua redujeron la altura de las plantas (50 a 64%), la biomasa de tubérculos (44 a 69%) y la biomasa de la planta completa (45 y 67%); mientras que la dosis de 150 mg de PBZ L^{-1} redujo la altura de planta (42%), disminuyó el índice de área foliar, pero no afectó la biomasa de tubérculos (47.0 g); asimismo, el número de tubérculos por planta ni el índice de cosecha (Flores *et al.*, 2011).

Partida *et al.* (2007) observaron que el PBZ incrementó la biomasa de raíz y de la parte aérea en pimiento morrón y berenjena, con relación al testigo; 150 mg L^{-1} fue la dosis más adecuada en pimiento morrón al incrementar en 1.1 veces la longitud de raíz, en 3.7 veces la materia fresca y en 13 veces la materia seca de las mismas; y al incrementar en 1.5 y 6.7 veces la materia fresca y seca de la parte aérea, respectivamente. En raíces de berenjena incrementó en 1.3 veces la materia fresca y en 71 % la materia seca de raíz; y en 81 % la materia fresca y 89 % la materia seca de la parte aérea.

Asimismo, en chile el PBZ retarda el crecimiento de los tipos chile bell y anaheim con 200 mg L-1, en jalapeño con 100, en serrano con 100 ó 200, y en caribe con 200 ó 250 (Velázquez *et al.*, 2008).

El PBZ es un retardante con frecuencia usado en 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 este procedimiento suele ser persistente en el suelo (Ochoa *et al.*, 2009).

Pisarczyk y Splittstoesser (1979), Wittewer y Tolbert (1960) y Bailey *et al.* (1986) encontraron estimulación de la floración y control en altura de plantas en el cultivar Merritt´s Supreme de Hortensia, con aspersiones foliares semanales de 100 mL L^{-1} de paclobutrazol.

En plantas de *Zantedeschia* cultivadas como ornamentales en macetas, la altura se puede controlar mediante el PBZ (Tjia, 1987), y dicho producto puede interactuar con GA_3 para afectar la altura y el número de flores de *Zantedeschia rehmannii* cultivadas a partir de rizomas producidos en campo (Corr y Widmer, 1991).

En árboles de peonía (*Paeonia suffruticosa*) y plantas leguminosas medicinales, el PBZ asperjado a 500 y 1000 ppm es menos efectivo que el uniconazole a 25 y 50 ppm, para reducir la longitud de la raíz en árboles de la variedad Hanakisoi (Hamada *et al.*, 1990).

En *Ficus benjamina,* la producción y el tamaño de la hoja fueron caracteres reducidos cuando el medio fue humedecido con PBZI (LeCain *et al.*, 1986). También en árboles de pecana [*Carya illinoensis* (Wangenh) C. Koch] se redujo el crecimiento de raíces y el área foliar durante cuatro años después que las plantas fueron tratadas con PBZ (Wood, 1988).

Debido a que el PBZ es efectivo en muchos miembros de la familia Rosaceae (Erez, 1984; Williams, 1984), incluyendo el cerezo (Quinlan y Webster, 1982; Webster y Quinlan, 1984), y porque no tiene efecto de largo alcance, parece prometedor para preservación in vitro de cerezo dulce (Snir, 1988).

Los efectos inversos que ocasiona GA_3 en relación con los que induce el PBZ, han sido reportados en caléndula (Moore y Schekel, 1985), en durazno (Casper y Taylor, 1989) y nochebuena (Davis *et al.*, 1988).

Tratamientos con paclobutrazol (PBZ, Cultar, Imperial Chemicals, Surry, U. K) han reducido el crecimiento terminal de cerezos dulces mientras incrementan el tamaño del fruto (Looney y McKeellar, 1987).

En Friederick's Dendrobium orchid, el PBZ promueve el desarrollo de yemas en todos los nudos, cuando se aplica en dosis de 0.025, 0.05, 0.075 y 0.1 mg L^{-1}; sin embargo, la mayor inducción floral se obtiene con 0.05 mg L^{-1} (Te-chato *et al.*, 2009).

Mediante las dosis de 12 y 24 mL L^{-1} de PBZ, combinado con 75 y 150 kg de N ha^{-1}, respectivamente, el PBZ 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 las clorofilas **a** y **b** en relación con las plantas testigo o aquéllas que no fueron tratadas con paclobutrazol (Iremiren *et al.*, 2002).

Embebiendo semillas de trigo durante 24 horas en solución de 25 ó 50 mg L^{-1} de paclobutrazol, y cultivando las plántulas en condiciones climáticas controladas, sometiendo posteriormente las plantas a estrés de bajas temperaturas en cuartos

frios o en refrigerador, el PBZ produjo disminución del contenido de clorofila e incremento de los niveles de carotenoides, incrementando la actividad de la enzima peroxidasa y la peroxidación de lípidos, con respecto a las plantas testigo (Berova *et al.*, 2002).

En hojas de maíz (*Zea mays* L.), de los cultivares '3902' de Pioneer y 'Orgullo 5', el PBZ ocasionó que los cloroplastos fueran más grandes; asimismo, que se incrementara el número de lamelas del estroma y de pilas de grana (Sopher *et al.*, 1999).

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en el Campo Experimental e invernaderos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, ubicada en el km 17.5 de la carretera Culiacán–Eldorado, con las coordenadas 24° 37' 29" N y 107° 26' 36" O. Donde durante el ciclo agrícola 2009-2010 se sembró la variedad DK 74 de la empresa Decalb, con la que se formaron hileras sencillas bajo condiciones de campo abierto, en un diseño experimental de bloques completos al azar con cinco repeticiones.

Las parcelas experimentales constaron de tres surcos de 40 m de largo con separación de 0.80 m entre sí, donde el surco central fue la parcela útil. La siembra se hizo a tierra venida, ya que el suelo es de textura arcillosa, por lo que se dio un riego de presiembra por gravedad, y durante el cultivo de las parcelas se aplicaron cuatro riegos de auxilio, también por gravedad, con lo que se indujo el crecimiento y desarrollo de las plantas. Todas las parcelas experimentales se manejaron con 250 kg de N ha^{-1} a partir de urea, aplicando el 100% al momento de la escarda y antes del primer riego de auxilio; además, las plantas fueron protegidas con el insecticida Paratión Metílico 720 para combatir pulgones. Previo a la siembra fue necesario realizar análisis del suelo para conocer algunas de sus propiedades físicas y químicas, tales como pH=7.6, CE=0.92 dS m^{-1}, MO=0.86, N=147 kg ha^{-1} y P=28.7 kg ha^{-1}.

La densidad de población fue de 13 plantas por metro lineal, por lo que se tuvieron 162,500 plantas por hectárea, lo cual resulta de multiplicar 13 X 100 m de largo X 125 surcos que se puedan construir en 100 m de ancho de la hectárea.

Los tratamientos utilizados en campo fueron 0 (testigo), 150, 300 ó 450 mg de PBZ L^{-1} de agua; el primero se aplicó en una sola ocasión, el segundo se completó con dos aplicaciones de 150 mg de PBZ, en tanto que el tercero se completó con tres. Cada aplicación se hizo cada ocho días con una bomba manual. La primera aplicación de PBZ se realizó cuando las plantas tuvieron ocho hojas verdaderas, mientras que la segunda y tercera se realizaron ocho días después de la aplicación previa; es decir, cuando las plantas tuvieron nueve y diez hojas, respectivamente.

También se establecieron otros dos experimentos en charolas de poliestireno con 200 cavidades rellenas de peat moss. En el primero se sembraron semillas embebidas en solución con PBZ en dosis de 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 ó 400 mg L^{-1} de agua. En el segundo experimento la siembra se hizo con semillas sin imbibición con la solución referida, donde las plantas se dejaron crecer hasta la etapa fenológica de siete hojas verdaderas (V_7) para aplicar el PBZ con atomizador manual, dando 12 disparos por parcela experimental, con aproximadamente la misma presión del disparador. Las unidades experimentales constaron de 63 plantas, de las cuales se seleccionaron diez al azar.

Un tercer experimento se estableció en condiciones de macetas con capacidad de 15 kg de suelo franco limoso (aluvión), en invernadero, donde se cultivaron cinco

plantas por maceta y se les dejó crecer hasta la formación de panoja, mismas que fueron fertilizadas en dos ocasiones con 1.3 g de N L^{-1} de agua a partir de urea.

Las variables de estudio en campo fueron: verdor de hojas, el cual se determinó con Spad-502 a los ocho días después de la aplicación del PBZ, tomando la parte central de la tercera hoja de arriba hacia abajo de la planta; el diámetro de tallo se midió con vernier en el segundo entrenudo; la altura de la planta se midió desde la superficie del suelo hasta la parte apical de la panoja, la longitud y anchura de hojas y longitud de panojas se midieron con el metro, desde su base hasta la parte apical; el peso de grano de 25 panojas y el peso de 1000 granos se determinó con báscula de precisión marca Ohaus con capacidad de 2610 g; el volumen de 1000 granos se obtuvo con una probeta de 500 mL a través de la diferencia del total de mL de agua base y el valor observado después de depositar los 1000 granos; el índice de cosecha se estimó en base al porcentaje del peso de grano con respecto al peso total de la planta, mientras que el rendimiento por hectárea se determinó con la producción de grano por parcela útil.

En condiciones de charolas de poliestireno en invernadero, las variables de estudio fueron: altura de plantas, medida a partir de la superficie del sustrato hasta la parte apical del coleóptilo y posteriormente hasta el extremo superior (ápice) de la tercera hoja verdadera, en un experimento; mientras que en el otro experimento, ocho días después de la aplicación de PBZ (hecha cuando las plantas estuvieron en V_7), dicho carácter se midió hasta la lígula de la tercera hoja.

En condiciones de macetas, las variables fueron longitud y anchura de la tercera hoja de arriba hacia abajo y de la hoja bandera; asimismo, el peso seco de raíz. La longitud se determinó desde la lígula de las hojas hasta el ápice de las mismas; la anchura se midió en la parte media de la lámina de cada hoja; mientras que el peso seco de raíces se determinó con báscula de precisión después de secarlas hasta peso constante en estufa con 60 °C.

Los datos de analizaron estadísticamente con el procedimiento proc glm del SAS Institute (1996) versión 6.12, utilizando la prueba de comparaciones múltiple de medias Tukey, con $\alpha \leq 0.05$

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. En condiciones de charolas de poliestireno en invernadero.

La longitud del coleóptilo de plántulas provenientes de semillas embebidas con solución de PBZ, fue significativamente menor en todas las plántulas que recibieron desde 50 hasta 400 mg de PBZ L^{-1} de agua con respecto al coleóptilo de las plántulas testigo (Cuadro 1), de tal forma que las disminuciones fueron de 39.3, 44.0, 33.9, 47.6, 47.6, 43.5, 47.6 y 45.8% con las respectivas dosis de 50, 100,150, 200, 250, 300, 350 ó 400 mg de PBZ.

La altura de las mismas plantas, cuando ésta se midió hasta el ápice de la tercera hoja verdadera, también presentó diferencias estadísticas significativas (Cuadro 1); sin embargo, en esa etapa fenológica las plantas tratadas con 100, 150 ó 300 mg de PBZ L^{-1} de agua tuvieron incrementos de 19.8, 19.8 y 30.6% en relación con las plantas testigo, y no obstante que la altura de este último no tuvo diferencias estadísticas con la que expresaron las plantas que recibieron 200, 250, 350 ó 400 mg de PBZ, éstas tuvieron incrementos de 11.2, 6.3, 12.2 y 2.5%, respectivamente. De tal manera que sólo las plantas que recibieron 50 mg de PBZ fueron de menor altura que el testigo.

La altura de las plantas que en la etapa V_7 fueron tratadas con PBZ (Cuadro 1), fue estadísticamente menor con respecto a las que no recibieron tratamiento con dicha sustancia (testigo), y las disminuciones en dicha característica fueron de 18.5, 36.8, 30.0, 23.2, 31.2, 32.4, 32.4 y 32.8%, con las respectivas dosis de 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 ó 400 mg de PBZ L^{-1} de agua. Lo que a su vez permitió deducir que el

PBZ retarda el crecimiento de las plantas de sorgo, siempre y cuando se aplique a nivel de semillas o hasta la etapa V_7.

Cuadro 1. Altura de plántulas obtenidas a partir de semillas embebidas en solución con PBZ y de plántulas tratadas con PBZ en la etapa de siete hojas verdaderas.

Dosis de PBZ (mg L^{-1} de agua)	Longitud (cm) del coleóptilo de plántulas originadas de semillas embebidas	Altura (cm) de plántulas originadas de semillas embebidas	Altura (cm) de plántulas tratadas en la etapa V_7
0 (testigo)	1.68 a	20.99 cd	6.69 a
50	1.02 bc	19.76 d	5.45 b
100	0.94 bc	25.15 ab	4.23 c
150	1.11 b	25.15 ab	4.82 bc
200	0.88 c	23.36 bc	5.14 bc
250	0.88 c	22.31 bcd	4.60 bc
300	0.95 c	27.42 a	4.52 c
350	0.88 c	23.56 bc	4.52 c
400	0.91 bc	21.51 cd	4.50 c

Medias con letra distinta en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Las disminuciones de altura, tanto del coleóptilo como de plantas tratadas en la etapa V_7, coinciden con los resultados de Weaver (1984), ya que este autor reportó que los retardantes de crecimiento, como el PBZ, suprimen el crecimiento de los tallos porque acortan los entrenudos del mismo, por lo que a su vez determinó que

estas sustancias ocasionan efectos opuestos al de las giberelinas, ya que mientras éstas inducen el crecimiento de los entrenudos, los retardantes provocan su acortamiento. Asimismo, con los resultados de McDaniel (1986), puesto que éste reportó que el PBZ es un derivado de la pirimidina que ha mostrado actividad para controlar el crecimiento de un amplio rango de plantas; o con los de Wang y Blessington (1990), quienes establecieron que el PBZ es efectivo en la reducción de la elongación del tallo en muchas especies.

Sin embargo, los resultados de altura obtenidos en las plantas resultantes de las semillas embebidas en solución con PBZ y medidas hasta la parte apical de la tercera hoja verdadera, después de haber sido con coleóptilo más pequeño, tienen relación con los de Partida *et al.* (2007), quienes observaron que el PBZ incrementó la biomasa de raíz y de la parte aérea en pimiento morrón y berenjena, con relación al testigo; 150 mg L^{-1} fue la dosis más adecuada en pimiento morrón al incrementar en 1.1 veces la longitud de raíz, en 3.7 veces la materia fresca y en 13 veces la materia seca de las mismas; y al incrementar en 1.5 y 6.7 veces la materia fresca y seca de la parte aérea, respectivamente. En raíces de berenjena incrementó en 1.3 veces la materia fresca y en 71 % la materia seca de raíz; y en 81 % la materia fresca y 89 % la materia seca de la parte aérea.

Lo anterior permite deducir que las plantas fueron fotosintéticamente más eficientes, en la medida que crecieron y formaron más hojas verdaderas, lo que a su vez les permitió acumular más materia seca para incrementar su altura con respecto a las plantas testigo. Ali (2009), ya que él observó que las plantas de pepino fueron más eficientes fotosintéticamente cuando fueron tratadas con 40 mg de PBZ L^{-1} de agua,

lo que hizo que las plantas aumentaran el número de raíces, así como la longitud y diámetro de las mismas, cuando las semillas fueron remojadas en solución con PBZ.

La longitud de la tercera hoja de arriba hacia abajo no se expresó con diferencias estadísticas, al igual que la anchura de las mismas, pero en valores relativos se observaron disminuciones de 4.0, 13.4 y 13.8% en longitud y de 7.5, 7.5 y 12.5% en anchura. A diferencia de lo anterior, la hoja bandera sí tuvo diferencias estadísticas significativas (Cuadro 2), de tal manera que las de las plantas testigo fueron 50 y 35.2% más grandes que las que formaron las plantas tratadas con 300 ó 450 mg de PBZ, respectivamente; sin embargo, con respecto a la longitud de la hoja bandera de las plantas cultivadas con 150 mg de PBZ el incremento fue de 17.1%, sin que entre éllas ocurrieran diferencias estadísticas. El ancho de la hoja bandera no tuvo diferencias estadísticas, pero sí se observaron disminuciones en valores relativos, las cuales fueron de 10.5, 18.4 y 10.5% en comparación con el testigo.

El peso seco de raíces también tuvo diferencias estadísticas significativas (Cuadro 2), de tal forma que las raíces de las plantas cultivadas con 450 mg de PBZ tuvieron el máximo incremento de 42.6% con respecto al peso seco de las raíces de las plantas sin PBZ; le siguió el peso de las raíces de las plantas tratadas con 300 mg, con un incremento de 17.3%; mientras que las plantas cultivadas con 150 mg de PBZ tuvieron raíces con 29.7% menos de peso seco en comparación del testigo.

La reducción en la longitud y anchura de la tercera hoja de arriba hacia abajo y de la hoja bandera, tienen relación con los resultados de (Flores *et al.*, 2011), quienes en papa encontraron que el PBZ disminuyó el índice de área foliar, sin afectar la

biomasa de los tubérculos, así como el número de tubérculos por planta ni el índice de cosecha.

Los resultados en peso seco de raíces, también tienen relación con los de Partida *et al.* (2007), ya que éstos observaron que el PBZ incrementó la biomasa de raíz en pimiento morrón y berenjena, con relación al testigo; 150 mg L^{-1} fue la dosis más adecuada en pimiento morrón al incrementar en 1.1 veces la longitud de raíz, en 3.7 veces la materia fresca y en 13 veces la materia seca de las mismas. En raíces de berenjena incrementó en 1.3 veces la materia fresca y en 71 % la materia seca de raíz.

Cuadro 2. Longitud y anchura de la tercera hoja y de hoja bandera y peso seco de raíces de plantas tratadas con PBZ en la etapa V_7 en condiciones de macetas en invernadero.

Dosis de PBZ (mg L^{-1} de agua)	Longitud de la tercera hoja (cm)	Anchura de la tercera hoja (cm)	Longitud de la hoja bandera (cm)	Anchura de la hoja bandera (cm)	Peso seco de raíz por planta (g)
0 (testigo)	52.8 a	4.0 a	34.2 a	3.8 a	51.9 c
150	50.7 a	3.7 a	29.2 ab	3.4 a	36.5 d
300	45.7 a	3.7 a	22.8 b	3.1 a	60.9 b
450	45.5 a	3.5 a	25.3 b	3.4 a	74.0 a

Medias con letra distinta en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

7.2. En condiciones de campo.

El verdor de las hojas se expresó con incrementos significativos en las plantas tratadas con PBZ en relación con el testigo (Cuadro 3), de tal manera que dichos incrementos fueron de 18.3, 15.2 y 13.4 % con las respectivas dosis de 150, 300 ó 450 mg de PBZ. Estos resultados coinciden con los de Iremiren *et al.* (2002) y Nizam y Te-chato (2009), ya que los primeros descubrieron que el PBZ incrementó el contenido de las clorofilas **a** y **b** con respecto a las plantas que no fueron tratadas con dicho regulador de crecimiento; mientras que los segundos observaron que el PBZ incrementó el color verde de las hojas y el contenido total de clorofila en plantas de palma de aceite (*Elaeis quineensis* Jacq.).

En el mismo cuadro también se puede notar que la altura de plantas no disminuyó en aquéllas que recibieron cualquiera de las tres dosis de PBZ en relación con las plantas que no fueron tratadas con la misma sustancia (testigo), lo cual contrasta con los resultados de Mariscal *et al.* (1992), quienes encontraron que el PBZ retardó el crecimiento del tallo en hortensia cv 'Rose Supreme' con dosis de 50 mL L^{-1} aplicados al follaje; asimismo, con los de Ochoa *et al.* (2009), toda vez que ellos observaron que, cuando el PBZ se aplica al suelo, reduce significativamente todos los parámetros de crecimiento en plántulas de *Nerium oleander* L., ocasionando plantas más compactas; o con los de Iremiren *et al.* (2002), ya que éstos también descubrieron que con dosis de 12 y 24 mL L^{-1} de PBZ, combinado con 75 y 150 kg de N ha^{-1}, respectivamente, se disminuye la altura de las plantas de maíz. Sin embargo, la contrastación referida quizás sea debido a las diferencias de dosis

utilizadas y a las etapas fenológicas en que se aplicaron las dosis de PBZ o, en su defecto, a las especies cultivadas.

El diámetro del tallo tampoco se modificó en las plantas que recibieron PBZ con respecto al testigo (Cuadro 3), lo que a su vez difiere de los resultados de Iremiren *et al.* (2002), ya que éstos encontraron que esta característica se incrementó en plantas de maíz; no obstante, la contrastación puede ser quizás por la diferencia de especies y dosis utilizadas en los respectivos experimentos.

Sin embargo, el índice de cosecha también ocurrió con diferencias estadísticas significativas (Cuadro 3), pero el mayor incremento se observó (8.6%) en las plantas tratadas con 450 mg de PBZ en relación con las que fueron cultivadas con 300 mg; y de 3.7% con respecto a las tratadas con 150 mg; y aunque con las plantas testigo no tuvieron diferencia estadística, sólo se observó un incremento de 1.1% en esta variable.

Cuadro 3. Verdor foliar, altura, diámetro del tallo e índice de cosecha en campo, después de la aplicación del PBZ en las etapas de ocho, nueve y diez hojas verdaderas.

Dosis de PBZ (mg L^{-1} de agua)	Verdor (unidades Spad)	Altura de plantas (m)	Diámetro de tallo (cm)	Índice de cosecha de 25 plantas (g)
0(testigo)	38.9 b	1.4 a	1.7 a	1741.0 ab
150	46.0 a	1.3 a	1.5 a	1697.7 b
300	44.8 a	1.4 a	1.4 a	1621.4 c
450	44.1 a	1.4 a	1.4 a	1760.1 a

Medias con letra distinta en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

La longitud de panojas presentó variación (Cuadro 4), de tal forma que este carácter se incrementó 2.7, 0.5 y 1.4% con las dosis de 150, 300 ó 450 mg de PBZ, respectivamente, en comparación con el testigo. Estos resultados coinciden con los de Iremiren *et al.* (2002), quienes reportaron que en maíz el PBZ incrementó el rendimiento de materia seca. Asimismo, con los de Partida *et al.* (2007), ya que éstos descubrieron que el PBZ incrementó la biomasa de raíz y de la parte aérea en pimiento morrón y berenjena, con relación al testigo.

En el mismo cuadro también se puede notar que el peso de granos de 25 panojas se incrementó 10.5% en las parcelas tratadas con 450 mg de PBZ en comparación con el del testigo; asimismo, que con la dosis de 150 mg, el peso de 1000 granos se incrementó 3.2%; mientras que el volumen de 1000 granos tuvo un incremento de 0.8% con 450 mg. Y aunque el promedio de rendimiento de grano ha^{-1} fue estadísticamente igual entre la parcela testigo y la cultivada con 450 mg de PBZ, éste carácter también se incrementó 10.5% en comparación con el testigo, lo que a su vez tiene relación con lo descubierto por Espíndula *et al.* (2009), toda vez que éstos observaron incremento del rendimiento de grano en trigo cuando el PBZ se aplicó en dosis de 40, 80 ó 120 g ha^{-1}. En este aspecto también se tiene relación con los resultados de Ali (2009), ya que él observó que las plantas de pepino fueron más eficientes fotosintéticamente cuando fueron tratadas con 40 mg de PBZ L^{-1} de agua, lo que hizo que las plantas aumentaran el número de raíces, así como la longitud y diámetro de las mismas, cuando las semillas fueron remojadas en solución con 40 mg de PBZ L^{-1} de agua.

Cuadro 4. Promedios de longitud de panojas, peso de grano de 25 panojas, peso y volumen de 1000 granos y rendimiento de grano ha^{-1}.

Dosis de PBZ (mg L^{-1} de agua)	Longitud de panojas (cm)	Peso de grano de 25 panojas (g)	Peso de 1000 granos (g)	Volumen de 1000 granos (cm^3)	Rendimiento de grano (t ha^{-1})
0 (testigo)	22.1 b	881.8 ba	29.14 a	24.0 a	5.512 ab
150	22.4 ba	818.8 b	30.06 a	22.8 a	5.119 b
300	22.2 ba	881.2 ba	28.32 a	22.8 a	5.508 ab
450	22.7 a	974.6 a	29.40 a	24.2 a	6.091 a

Medias con letra distinta en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

VIII. CONCLUSIONES

El PBZ fue el que ocasionó mayor verdor del follaje, no disminuyó la altura y diámetro del tallo de las plantas, indujo incrementos importantes en la longitud de panojas, peso de granos de 25 panojas y rendimiento de grano por hectárea, ya que todas las parcelas fueron fertilizadas con la misma dosis de N ha^{-1}; sin embargo, el mayor incremento de rendimiento de grano sólo se logró con la dosis más alta de PBZ.

El PBZ no disminuyó la altura de plantas porque se aplicó en las etapas de ocho, nueve o diez hojas verdaderas, etapas en las que la concentración de giberelina es mucho mayor que en los estadios anteriores, por lo que las dosis aplicadas fueron insuficientes para inhibir la acción de la giberelina existente, así como la biosíntesis de la misma.

Universidad Autonoma
de Sinaloa
FACULTAD DE AGRONOMIA
Coordinación de Posgrado
Culiacán, Sinaloa, México.

IX. LITERATURA CITADA

Ali, A. R. 2009. Improving germination performance and chilling tolerance in cucumber seedlings with paclobutrazol. Inter. Jour. of Veg. Sci. 15: 173–184

Bailey, D. A., Weiler, T. C., and Kirk, T. I. 1986. Chemical stimulation of floral initiation in florists hydrangea. HortScience 21(2): 256-257.

Barrett, J. E., and Bartuska C. A. 1982. PP333 effects on stem elongation dependent on site of application. HortScience 17: 737-738.

Barrett, J. E., and Nell T. A. 1989. Efficacy and phytotoxicity of paclobutrazol and XE-1019 on vinca. Proc. Fla. State Hort. Soc. 100: 382-383.

Berova M., Zlatev Z., and Stoeva N. 2002. Effect of paclobutrazol on wheat seedlings under low temperature stress. Bulg. J. Plant Physiol. 28(1-2): 75-84.

Casper, J. A., and Taylor B. H. 1989. Growth and development of young 'Loring' peach trees after foliar sprays of paclobutrazol and GA3. HortScience 24: 240-242.

Corr, B. E., and Widmer R. E. 1991. Paclobutrazol, gibberellic acid, and rhizome size affect growth and flowering of *Zantedeschia*. HortScience 26(2): 133-135.

Dalziel, J., and Lawrence, D.K. 1984. Biochemical and biological effects of Kaurene oxidase inhibitors, such as paclobutrazol. Brit. Plant Growth Regulat. Group, Monogr. 11 p.

Davis, T. D. Walser R., and Williams, C. F. 1988. Reserve effects of growth retardants. Greenhouse Grower 6(8): 29-31.

Early, J. D., and Martin G. C. 1988: Translocation and breakdown of ^{14}C-labelled paclobutrazol in Nemaguard peach seedlings. HortScience 23: 196.200.

Erez, A. 1984. Dwarfing peaches by pruning and paclobutrazol. Acta hort. 146: 1235-1241.

Espindula, M. C., V. S. Rocha, J. A. S. Grossi, M. A. Souza, L. T. Souza y L. F. Favarato. 2009. Use of growth retardants in wheat. Planta Daninha Vicosa, 27(2): 379-387.

Flores, L. R., Sánchez del C. F., Rodríguez P. J. E., Mora A. R., Colinas L. M. T., Lozoya S. H. 2011. Paclobutrazol, uniconazol y cycocel en la producción de tubérculo-semilla de papa en cultivo hidropónico. Revista Chapingo Serie Horticultura 17 (2): 173-182.

Giaffagna, T. J., and Wulster G.J. 1986. Comparative effects of ancymidol and paclobutrazol on Easter lily. HortScience 21(6): 463-464.

Gopi, R., Abdul J. Ch., Divyanair V., Azooz M. M. and Panneerselvam R. 2009. Effect of Paclobutrazol and ABA on Total Phenol Contents in Different Parts of Holy Basil *Ocimum sanctum*). Acad.J. of Plant Sci. 2(2): 97-101.

Goulston, G. H., and Shearing S. J. 1985. Review of the effects of paclobutrazol on ornamental pot plants. Act. Hort. 167: 339-348.

Hamada, M., Hosoki T. and, Maeda T. 1990. Shoot length control of tree peony (*paeonia suffruticosa*) with uniconazole and paclobutrazol. HortScience 25(2): 198.200.

Iremiren, G. O., Adewumi P. O., Aduloju S. O., and Ibitoye A. A. 2002. Effects of paclobutrazol and nitrogen fertilizer on the growth and yield of maize. J. of Agric. Sci. 128: 425-430.

Krishnamoorthy, H. N. 1981. Plant Growth Substances. Including Applications in Agriculture. Editorial McGraw-Hill Publishing Company Limited, USA. 214 p.

LeCain, D. R., Schekel K. A., and Walple, R. L. 1986. Growth retarding effects of paclobutrazol on weeping fig. HortScience 21: 1150-1152.

Looney, N. E., and McKeellar J. E. 1987. Effect of foliar- and soil-applied paclobutrazol on vegetative growth and fruit quality of sweet cherries. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112: 71-76.

Wansour, H. A., and Poole R. T. 1987. Trials with growth retardant on ornamental foliage plants. Proc. Fla. State Hort. Soc. 100: 375-378.

Wariscal A., E., Lozoya S. H. y Colinas L. M. T. 1992. Efecto del paclobutrazol (PP333, Bonzi) sobre el crecimiento y floración de hortensia (*Hydrangea macrophiyla* Thunb). Revista Chapingo 78: 11-13.

WcDaniel, G. L. 1983. Growth retardation activity of paclobutrazol on chrysanthemum. HortScience 18: 199-200.

McDaniel, G. L. 1986. Comparison of paclobutrazol, flurprimidol, and tetcyclacis for controlling poinsettia height. HortScience 21:1161-1163.

Moore, T. M., and Schekel, K. A. 1985. GA_3 temporary reversal of growth retarding effects of paclobutrazol (PP333) on marigold 'First Landy' seedlings. HortScience 20: 126. (Abstr.).

Nitsch, J. T. 1957. Growth responses of woody plants to photoperiodic stimuli. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 70: 512-525.

Nizam, K. and Te-chato S. 2009. Optimizing of root induction in oil palm plantlets for acclimatization by some potent plant growth regulators (PGRs). J. of Agric. Techn. 5(2): 371-383.

Ochoa, J., Franco J. A., Bañón S. and Fernández J. A. 2009. Distribution in plant, substrate and leachate of paclobutrazol following application to containerized *Nerium oleander* L. seedlings. J. Agric. Res. 7(3): 621-628.

Partida R., L., Velázquez A. T. de J., Acosta V. B., Díaz V. T. Ayala T. F., Díaz V. T., Inzunza C. J. F. y Cruz O. J. E. 2007. Paclobutrazol y crecimiento de raíz y parte aérea de plántulas de pimiento morrón y berenjena. Rev. Fitotec. Mexicana 30(2): 145-149.

Pérez, B. M. H., Osuna G. J. A., Sánchez L. R., Vázquez V. V. 2011. El paclobutrazol como promotor de la floración en mango 'manila', aun sin condiciones ambientales inductivas. Revista Chapingo Serie Horticultura 17 (No. Esp.): 47-52.

Pisarczyk, J. M., and Splittstoesser, W. E. 1979. Controlling tomato transplants height with chlormequat, daminozide and etephon. J Amer. Soc. Hort. Sci. 104(3): 342-344.

Quinlan, J. D., and Webster A. D. 1982. Effects of the growth retardant PP333 on the growth of plums and cherries. XXI ISHS intl. Hort. Congr., Hamburg, F.R.G (abstr. 1071.).

Rojas G., M. y Rovalo M. 1985. Fisiología Vegetal Aplicada. Tercera Edición. Ed. McGraw-Hill. México, D. F. 302 p.

Sanderson, K. C., Martin, Jr. W. C., and McGuire J. 1988. Comparison of paclobutrazol tablets, drenches, gels, capsules, and sprays on Chrysanthemus growth. HortScience 23(6): 1008-1009.

SAS Institute. 1996. SAS User's Guide: Basics, 5th Edition. SAS Institute Inc., Cary, N. C. pp: 1181-1191.

Shanks, J. B. 1980. Chemical dwarfing of several ornamental greenhouse crops with PP333. Proc. Plant Growth Regulat. Working Group 7:46-51.

Sopher, C. R., Król M., Huner N. PA, Moore A. E. and Fletcher R. A. 1999. Chloroplastic changes associated with paclobutrazol-induced stress protection in maize seedlings. Can. J. Bot. 77(2): 279–290.

Snir, I. 1988. Influence of paclobutrazol in vitro growth of sweet cherry shoots. HortScience 23(2):304-305.

Sterrett, J. P. 1985. Paclobutrazol: A promising growth inhibitor for inyection into woody plants. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 110:4-8.

Sterrett, J. P. 1988. XE-1019: plant response, traslocation and metabolism. J. plant Growth Regulat. 7:19-26.

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 Physiology 123 (1):93-99.

Te-chato, S., Nujeen P. and Muangsorn S. 2009. Paclobutrazol enhance budbreak and flowering of Friederick's Dendrobium orchid *In Vitro*. J. of Agric. Techn. 5(1): 157-165.

Tjia, B. 1987. Growth regulator effect on growth and flowering of *Zantedeschia rehmannii* Hyb. HortScience 22:507-508.

USDA (Departamento de Agricultura de Estados Unidos). 2011. Producción mundial de sorgo. Consultado el 20 de Agosto de 2011. http://www.Agropanorama.com/news/Produccion -Mundial-de-Sorgo.htm.

Velázquez, A. T. de J., Partida R. L., Acosta V. B. y Ayala T. F. 2008. Producción de plantas de tomate y chile aplicando paclobutrazol al follaje. Universidad y Ciencia, 24 (1): 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. Revista Chapingo 73-74: 77-80.

Wang, S. Y., Sun T., and Faust M. 1986. Translocation of paclobutrazol, a gibberellins biosynthesis inhibitor, in apple seedlings. Plant Physiol. 82:11-14.

Wang, Y. T., and Blessington T. M. 1990. Effect of paclobutrazol and uniconazole on growth of four tropical foliage species. HortScience 25:202-204.

Wareing, P. F., and Phillips I. D. J. 1981. Growth and Differentiation in Plants. Pergamon Press. 343 p.

Weaver, R. J. 1984. Reguladores del Crecimiento de las Plantas en la Agricultura. Editorial Trillas, México, D. F. 622 p.

Webster, A., and Quinlan J. D. 1984. Chemical control of shoot growth of sweet cherry. Annu. Rpt. East Malling Sta. p. 202-203.

Wilfret, G. J. 1981. Height retardation of poinsettia with ICI-PP-333.HortScience 16(3):443. (Abstr).

Wilkinson, R. I., and Richards, D. 1988. Influence of paclobutrazol on growth and flowering of *Camellia x williamsii*. HortScience 23(2):359-360.

Williams, M. W. 1984. Use of bioregulators to control vegetative growth of fruit trees and improve fruiting efficiency. Acta Hort. 146: 97-104.

Wittwer, S. H., and Tolbert, N. E. 1960. (2-chloroethyl) trymethylammonium chloride and related compounds as plant growth substances, III: Effect on growth and flowering of the tomato. Amer. Jour. Bot. 47:560-565.

Wood, B. W. 1988. Paclobutrazol suppresses vegetative growth of large pecan trees. HortScience 23(2):341-343.

APÉNDICE

RESPUESTA DEL SORGO AL PACLOBUTRAZOL EN EL VERDOR, CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE GRANO

Teresa de Jesús Velázquez Alcaraz, Leopoldo Partida Ruvalcaba, **Felipe Menchaca Ceja**, Tomás Díaz Valdés, Benigno Acosta Villegas, José Sinuhé Acosta Quintero, Felipe Ayala Tafoya, Tirzo Paúl Godoy Angulo, Roberto Gastélum Luque

[1]Universidad Autónoma de Sinaloa-Facultad de Agronomía, km 17.5 de la Carretera Culiacán-Eldorado, Culiacán, Sinaloa, México, CP 80000. Teresadejesus_v@yahoo.com.mx

Resumen

Esta investigación se hizo para conocer el efecto que produce el paclobutrazol (PBZ) en el verdor, altura de plantas, diámetro del tallo, longitud de panojas, peso de granos de 25 panojas, volumen de 1000 granos y rendimiento del sorgo (Sorghum vulgare L.). Se aplicaron dosis de 0 (testigo), 150, 300 y 450 mg de PBZ L-1 de agua sobre el follaje del cultivar 'DK 74', la primera se aplicó en una sola ocasión con bomba manual, mientras que la segunda y la tercera se completaron con las respectivas dos o tres aplicaciones de la dosis de 150 mg y con el mismo equipo. Se fertilizó con 250 kg de N ha-1 momentos antes del primer riego de auxilio. El diseño experimental fue bloques completos al azar con cinco repeticiones y parcelas útiles de un surco de 40 m de largo. El verdor se incrementó hasta 18.3% con la dosis de 450 mg de PBZ; la altura de plantas, el diámetro del tallo y el volumen de 1000 granos no disminuyeron; la longitud de panojas se incrementó 2.7% donde se aplicaron 150 mg y 1.4% con 450 mg; mientras que el peso de granos de 25 panojas y el rendimiento de grano se incrementaron hasta 10.5% con la dosis de 450 mg de PBZ. De lo anterior se deduce que el PBZ se puede usar para incrementar caracteres componentes del rendimiento del sorgo y para incrementar su rendimiento de grano por hectárea.

Palabras clave: Regulador de crecimiento, altura de plantas, variedad 'DK 74', Sorghum vulgare, longitud de panojas.

Abstract

This research was to know the effect that produce the paclobutrazol (PBZ) in greenness, plant height, stem diameter, length of panicles, weight of grains of 25 panicles, volume of 1000 grains and sorghum yield (Sorghum vulgare L.). Applied dose of 0 (control), 150, 300 and 450 mg of PBZ L-1 of water on the foliage of cultivar 'DK 74', the first was applied on one occasion with hand pump, while the second and third were completed with respective two or three applications of the 150 mg dose and with the same team. It fertilized with 250 kg N ha-1 moments before the first irrigation for help. The experimental design was full blocks random with five replays and useful plots of a row of 40 m long. The greenness is increased to 18.3 per cent with the dose of 450 mg of PBZ; the height of plants, the diameter of the stem and the volume of 1000 grains not diminished; the length of panicles increased 2.7% where applied 150 mg and 1.4% with 450 mg; While the 25 panicles grain weight and grain yield increased to 10.5% with the dose of 450 mg of PBZ. It follows that the PBZ can be used to increase character components of sorghum yield and to increase its yield of grain per hectare.

Key words: Growth regulator, plants height, 'variety DK 74', Sorghum vulgare, panicles length.

Introducción

El Departamento de Agricultura de Estados Unidos estimó, para el ciclo agrícola 2009-2010, una producción mundial de sorgo de 62,43 millones de t, de las cuales 6,4 millones correspondieron a la producción de México. Sin embargo, el mismo departamento ha estimado que la producción será de

62,76 millones de t para el ciclo 2011-2012, con 2,5 millones de t menos con respecto a la producción en el ciclo agrícola 2010-2011; no obstante, México aportará 6,8 millones de t (USDA, 2011).

El paclobutrazol (PBZ) tiene 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 abscisico (Gopi et al., 2009); **en la palma de aceite** (Elaeis quineensis Jacq.) **incrementa la superficie epicuticular de las raíces, el color verde de las hojas y el contenido total de clorofila** (Nizam y Te-chato, 2009).

Villegas y Lozoya (1991) encontraron que retardantes de crecimiento, como el PBZ, 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; 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.

El PBZ ha mostrado actividad para controlar el crecimiento de plantas (Sterrett, 1985), y se ha establecido que es efectivo en la reducción de la elongación de tallo en muchas especies (Wang y Blessington, 1990), de tal manera que Mariscal et al. (1992) encontraron que el PBZ retardó el crecimiento del tallo en hortensia con dosis de 50 mL L-1 aplicados al follaje en el cultivar Rose Supreme; asimismo, que mediante dos aplicaciones foliares de 50 mg de PBZ L-1 de agua controlaron el alargamiento de tallo, produciendo plantas de menor altura (37 cm), mientras que las plantas testigo midieron 50 cm.

Partida et al. (2007) descubrieron que el PBZ incrementó la biomasa de raíz y de la parte aérea en pimiento morrón y berenjena, con relación al testigo; 150 mg L-1 fue la dosis más adecuada en pimiento morrón al incrementar en 1.1 veces la longitud de raíz, en 3.7 veces la materia fresca y en 13 veces la materia seca de las mismas; también incrementó en 1.5 y 6.7 veces la materia fresca y seca de la parte aérea, respectivamente. En raíces de berenjena incrementó en 1.3 veces la materia fresca y 71 % la materia seca de las mismas; en 81 % la materia fresca y 89 % la materia seca de la parte aérea. Asimismo, en chile el PBZ retardó el crecimiento de los tipos chile bell y anaheim con 200 mg L-1, en jalapeño con 100, en serrano con 100 ó 200, y en caribe con 200 ó 250 (Velázquez et al., 2008).

Con frecuencia el PBZ es usado en plantas ornamentales para controlar su crecimiento y compactarlas, de tal manera que cuando se aplica al suelo con plántulas de Nerium oleander L. reduce significativamente todos los parámetros de crecimiento, ocasionando plantas más compactas y de buen valor comercial; sin embargo, con este procedimiento suele ser persistente en el suelo (Ochoa et al., 2009).

Mediante dosis de 12 y 24 mL L-1 de PBZ, combinado con 75 y 150 kg de N ha-1, respectivamente, se disminuye la altura y madurez de las plantas de maíz, pero también se incrementa el grosor del tallo y el rendimiento de materia seca; asimismo, el contenido de las clorofilas a y b en relación con las plantas testigo o aquéllas que no fueron tratadas con paclobutrazol (Iremiren et al., 2002).

En hojas de maíz (Zea mays L.), de los cultivares '3902' de Pioneer y 'Orgullo 5', el PBZ ocasionó que los cloroplastos fueran más grandes; asimismo, que se incrementara el número de lamelas del estroma y de pilas de grana (**Sopher et al., 1999**).

El objetivo de la investigación fue determinar el efecto que produce el PBZ en el verdor del follaje, crecimiento y rendimiento del sorgo, cuando se aplica sobre plantas con ocho, nueve o diez hojas verdaderas en condiciones de campo.

Materiales y métodos

La presente investigación se realizó en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, ubicada en el km 17.5 de la carretera Culiacán–Eldorado. En el ciclo agrícola 2009-2010 se sembró la variedad DK 74 en hileras sencillas bajo condiciones de campo abierto, en un diseño experimental de bloques completos al azar con cinco repeticiones.

Las parcelas experimentales constaron de tres surcos de 40 m de largo con separación de 0.80 m entre sí, donde el surco central fue la parcela útil. La siembra se hizo a tierra venida, ya que el suelo es de textura arcillosa, por lo que se dio un riego de presiembra por gravedad, y durante el cultivo de las parcelas se aplicaron cuatro riegos de auxilio. Todas las parcelas experimentales se manejaron con 250 kg de N ha-1 a partir de urea, aplicando el 100% al momento de la escarda y antes del primer riego de auxilio; además, las plantas fueron protegidas con el insecticida Paratión Metílico 720 para combatir pulgones. Previo a la siembra fue necesario realizar análisis del suelo para conocer algunas de sus propiedades físicas y químicas, tales como pH=7.6, CE=0.92 dS m-1, MO=0.86%, N=147 kg ha-1 y P=28.7 kg ha-1.

La densidad de población fue de 13 plantas por metro lineal, por lo que se tuvieron 162,500 plantas por hectárea, lo cual resulta de multiplicar 13 X 100 m de largo X 125 surcos que se puedan construir en 100 m de ancho de la hectárea.

Los tratamientos utilizados en campo fueron 0 (testigo), 150, 300 ó 450 mg de PBZ L-1 de agua; el primero se aplicó en una sola ocasión, el segundo se completó con dos aplicaciones de 150 mg de PBZ, en tanto que el tercero se completó con tres, haciendo las aplicaciones cada ocho días con una bomba manual. La primera aplicación de PBZ se hizo cuando las plantas tuvieron ocho hojas verdaderas, mientras que la segunda y tercera se realizaron ocho días después de la aplicación previa; es decir, cuando las plantas tuvieron nueve y diez hojas, respectivamente.

Las variables de estudio fueron: verdor de hojas, el cual se determinó con Spad-502 a los ocho días después de la aplicación del PBZ, tomando la parte central de la tercera hoja de arriba hacia abajo de la planta; la altura de la planta se midió desde la superficie del suelo hasta la parte apical de la panoja; el diámetro de tallo se midió con vernier en el segundo entrenudo; la longitud de panojas se midió con el metro, desde la base de espiguillas hasta la parte apical; el peso de grano de 25 panojas con báscula de precisión; el volumen de 1000 granos se obtuvo con una probeta de 500 mL a través de la diferencia del total de mL de agua base y el valor observado después de depositar los granos; mientras que el rendimiento por hectárea se determinó con la producción de grano por parcela útil.

Los datos se analizaron estadísticamente con el procedimiento proc glm del SAS Institute (1985) versión 6.12, utilizando la prueba de comparaciones múltiple de medias Tukey, con $\alpha \leq 0.05$.

Resultados y discusión

El verdor de las hojas se expresó con incrementos significativos en las plantas tratadas con PBZ en relación con el testigo (Cuadro 1), de tal manera que dichos incrementos fueron de 18.3, 15.2 y 13.4 % con las respectivas dosis de 150, 300 ó 450 mg de PBZ. Estos resultados coinciden con los de Iremiren et al. (2002) y Nizam yTe-chato (2009), ya que los primeros descubrieron que el PBZ incrementó el contenido de las clorofilas a y b con respecto a las plantas que no fueron tratadas con dicho regulador de crecimiento; mientras que los segundos observaron que el PBZ incrementó el **color verde de las hojas y el contenido total de clorofila en plantas de palma de aceite** (Elaeis quineensis Jacq.).

En el mismo cuadro también se puede notar que la altura de plantas no disminuyó en aquéllas que recibieron cualquiera de las tres dosis de PBZ en relación con las plantas que no fueron tratadas con la misma sustancia (testigo), lo cual contrasta con los resultados de Mariscal et al. (1992), quienes encontraron que el PBZ retardó el crecimiento del tallo en hortensia cv 'Rose Supreme' con dosis de 50 mL L-1 aplicados al follaje; asimismo, con los de Ochoa et al. (2009), toda vez que ellos

observaron que, cuando el PBZ se aplica al suelo, reduce significativamente todos los parámetros de crecimiento en plántulas de Nerium oleander L., ocasionando plantas más compactas; o con los de Iremiren et al. (2002), ya que éstos también descubrieron que con dosis de 12 y 24 mL L-1 de PBZ, combinado con 75 y 150 kg de N ha-1, respectivamente, se disminuye la altura de las plantas de maíz. Sin embargo, la contrastación referida quizás sea debido a las diferencias de dosis utilizadas y a las etapas fenológicas en que se aplicaron las dosis de PBZ o, en su defecto, a las especies cultivadas.

El diámetro del tallo tampoco se modificó en las plantas que recibieron PBZ con respecto al testigo (Cuadro 1), lo que a su vez difiere de los resultados de Iremiren et al. (2002), ya que éstos encontraronque esta característica se incrementó en plantas de maíz; no obstante, la contrastación puede ser quizás por las diferentes especies y dosis utilizadas en los respectivos experimentos.

Cuadro 1. Verdor foliar, altura y diámetro del tallo del sorgo en campo, después de la aplicación del PBZ en las etapas de ocho, nueve y diez hojas verdaderas.

Dosis de PBZ (mg L^{-1} de agua)	Verdor (unidades Spad)	Altura de plantas (m)	Diámetro de tallo (cm)
0(testigo)	38.9 b	1.4 a	1.7 a
150	46.0 a	1.3 a	1.5 a
300	44.8 a	1.4 a	1.4 a
450	44.1 a	1.4 a	1.4 a

Medias con letra distinta en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha \leq 0.05$)

La longitud de panojas presentó variación (Cuadro 2), de tal forma que este carácter se incrementó 2.7, 0.5 y 1.4% con las dosis de 150, 300 ó 450 mg de PBZ, respectivamente, en comparación con el testigo. Estos resultados coinciden con los de Iremiren et al. (2002), quienes reportaron que en maíz el PBZ incrementó el rendimiento de materia seca. Asimismo, con los de Partida et al. (2007), ya que éstos descubrieron que el PBZ incrementó la biomasa de raíz y de la parte aérea en pimiento morrón y berenjena, con relación al testigo.

En el mismo cuadro también se puede notar que el peso de granos de 25 panojas se incrementó 10.5% en las parcelas tratadas con 450 mg de PBZ en comparación con el del testigo; asimismo, el volumen de granos con 0.8%. Además, el rendimiento de grano ha-1 también se incrementó 10.5% en comparación con el testigo, pero dicho aumento sólo ocurrió con 450 mg de PBZ acumulados a través de tres aplicaciones con dosis de 150 mg del citado regulador de crecimiento, lo que a su vez tiene relación con lo descubierto por Espíndula et al. (2009), toda vez que éstos observaron incremento del rendimiento de grano en trigo cuando el PBZ se aplica en dosis de 40, 80 ó 120 g ha-1. En este aspecto también tiene relación con los resultados de Ali (2009), ya que él observó que las plantas de pepino fueron más eficientes fotosintéticamente cuando fueron tratadas con 40 mg de PBZ L-1 de agua, lo que hizo que las plantas aumentaran el número de raíces, así como la longitud y diámetro de las mismas, cuando las semillas fueron remojadas en solución con 40 mg de PBZ L-1 de agua.

Cuadro 2. Promedios de longitud de panojas, peso de grano de 25 panojas, volumen de 1000 granos y rendimiento de grano ha^{-1}.

Dosis de PBZ (mg L^{-1} de agua)	Longitud de panojas (cm)	Peso de grano de 25 panojas (g)	Volumen de 1000 granos (cm^3)	Rendimiento de grano (t ha^{-1})
0 (testigo)	22.1 b	881.8 ba	24.0 a	5.512 ab
150	22.4 ba	818.8 b	22.8 a	5.119 b
300	22.2 ba	881.2 ba	22.8 a	5.508 ab
450	22.7 a	974.6 a	24.2 a	6.091 a

Medias con letra distinta en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha \leq 0.05$)

Conclusiones

El PBZ fue el que ocasionó mayor verdor del follaje, no disminuyó la altura y diámetro del tallo de las plantas, indujo incrementos importantes en la longitud de panojas, peso de granos de 25 panojas y rendimiento de grano por hectárea, ya que todas las parcelas fueron fertilizadas con la misma dosis de N ha-1; sin embargo, el mayor incremento de rendimiento de grano sólo se logró con la dosis más alta de PBZ.

El PBZ no disminuyó la altura de plantas porque se aplicó en las etapas de ocho, nueve o diez hojas verdaderas, etapas en las que la concentración de giberelina es mucho mayor que en los estadios anteriores, por lo que las dosis aplicadas fueron insuficientes para inhibir la acción de la giberelina existente, así como la biosíntesis de la misma.

Literatura citada

Ali, A. R. 2009. Improving germination performance and chilling tolerance in cucumber seedlings with paclobutrazol. Inter. Jour. of Veg. Sci. 15: 173–184

Espíndula, M. C., V. S. Rocha, J. A. S. Grossi, M. A. Souza, L. T. Souza y L. F. Favarato. 2009. Use of growth retardants in wheat. Planta Daninha Vicosa, 27(2): 379-387.

Gopi, R., Abdul J. Ch., Divyanair V., Azooz M. M. and Panneerselvam R. 2009. Effect of Paclobutrazol and ABA on Total Phenol Contents in Different Parts of Holy Basil Ocimum sanctum). Acad.J. of Plant Sci. 2(2): 97-101.

Iremiren, G. O., Adewumi P. O., Aduloju S. O., and Ibitoye A. A. 2002. Effects of paclobutrazol and nitrogen fertilizer on the growth and yield of maize. J. of Agric. Sci. 128: 425-430.

Mariscal, A. E., Lozoya S. H. y Colinas L. M. T. 1992. Efecto del paclobutrazol (PP333, bonzi) sobre el crecimiento y floración de hortensia (Hydrangea macrophiyla Thunb). Revista Chapingo 78: 11-13.

Nizam, K. and Te-chato S. 2009. Optimizing of root induction in oil palm plantlets for acclimatization by some potent plant growth regulators (PGRs). J. of Agric. Techn. 5(2): 371-383

Ochoa, J., Franco J. A., Bañón S. and Fernández J. A. 2009. Distribution in plant, substrate and leachate of paclobutrazol following application to containerized Nerium oleander L. seedlings. J. Agric. Res. 7(3): 621-628.

Partida, R. L., Velázquez A. T. de J., Acosta V. B., Díaz V. T. Ayala T. F., Díaz V. T., Inzunza C. J. F. y Cruz O. J. E. 2007. Paclobutrazol y crecimiento de raíz y parte aérea de plántulas de pimiento morrón y berenjena. Rev. Fitotec. Mexicana 30(2): 145-149.

SAS, Institute. 1985. SAS User's Guide: Basics, 5th Edition. SAS Institute Inc., Cary, N. C. pp: 1181-1191.

Sopher, C. R., Król M., Huner N. PA, Moore A. E. and Fletcher R. A. 1999. Chloroplastic changes associated with paclobutrazol-induced stress protection in maize seedlings. Can. J. Bot. 77(2): 279–290.

Sterret, J. P. 1985. Paclobutrázol: A promising growth inhibitor for inyection into woody plants. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 110:4-8.

Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA). 2011. Producción mundial de sorgo. Consultado el 20 de Agosto de 2011. http://www.Agropanorama.com/news/Produccion - Mundial-de-Sorgo.htm.

Velázquez, A. T. de J., Partida R. L., Acosta V. B. y Ayala T. F. 2008. Producción de plantas de tomate y chile aplicando paclobutrazol al follaje. Universidad y Ciencia, 24 (1): 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. Revista Chapingo 73-74: 77-80.

Wang, Y. T., and Blessington T. M. 1990. Effect of paclobutrazol and uniconazole on growth of four tropical foliage species. HortScience 25:202-204.